Environment Canada Environnement Canada

# GUIDANCE DOCUMENT FOR FLOW MEASUREMENT OF METAL MINING EFFLUENTS

## FINAL REPORT

**EPS 2/MM/4 – April 2001**
Minerals and Metals Division
Environmental Protection Service
Environment Canada

Canada

ENVIRONMENTAL PROTECTION SERIES

**Sample Number:**

| EPS | 3 | / | HA | / | 1 |
|---|---|---|---|---|---|

**Report number with the qualifier EPS 3/HA**
**Subject Area Code**
**Report Category**
**Environmental Protection Series**

**Categories**

| | |
|---|---|
| 1 | Regulations/Guidelines/Codes of Practice |
| 2 | Problem Assessment and Control Options |
| 3 | Research and Technology |
| 4 | Literature Reviews |
| 5 | Surveys |
| 6 | Social, Economic and Environmental Impact Assessments |
| 7 | Surveillance |
| 8 | Policy Proposals and Statements |
| 9 | Manuals |

**Subjects**

| | |
|---|---|
| **AG** | Agriculture |
| **AN** | Anaerobic Technology |
| **AP** | Airborne Pollutants |
| **AT** | Aquatic Toxicity |
| **CC** | Commercial Chemicals |
| **CE** | Consumers and the Environment |
| **CI** | Chemical Industries |
| **FA** | Federal Activities |
| **FP** | Food Processing |
| **HA** | Hazardous Wastes |
| **IC** | Inorganic Chemicals |
| **MA** | Marine Pollutants |
| **MM** | Mining and Ore Processing |
| **NR** | Northern and Rural Regions |
| **PF** | Paper and Fibres |
| **PG** | Power Generation |
| **PN** | Petroleum and Natural Gas |
| **RA** | Refrigeration and Air Conditioning |
| **RM** | Reference Methods |
| **SF** | Surface Finishing |
| **SP** | Oil and Chemical Spills |
| **SRM** | Standard Reference Methods |
| **TS** | Transportation Systems |
| **TX** | Textiles |
| **UP** | Urban Pollution |
| **WP** | Wood Protection/Preservation |

New subjects and codes are introduced as they become necessary. A list of EPS reports may be obtained from Environmental Protection Publications, Environmental Protection Service, Environment Canada, Ottawa, Ontario K1A 0H3, Canada.

© Minister of Public Works and Government Services Canada 2001

101-06199/

Environment Canada Environnement Canada

# GUIDANCE DOCUMENT FOR FLOW MEASUREMENT OF METAL MINING EFFLUENTS

## FINAL REPORT

**EPS 2/MM/4 – April 2001**
Minerals and Metals Division
Environmental Protection Service
Environment Canada

Canada

**Canadian Cataloguing in Publication Data**

Main entry under title :

Guidance document for flow measurement of metal mining effluents

(Report ; EPS 2/MM/4)

Issued also in French under title: Document d'orientation

pour les mesures de débit des effluents de mines de métaux.

Includes bibliographical references.

ISBN 0-660-18240-8

Cat. no. En49-24/1-38E

1. Effluent quality -- Measurement.
2. Flow meters.
3. Mineral industries -- Waste disposal.
4. Mineral industries -- Environmental aspects.

I. Canada. Environment Canada.

II. Series: Report (Canada. Environment Canada) ; EPS 2/MM/4.

TD367.G84 2001 628.1'61 C00-980356-4

## READERS' COMMENTS

Comments and inquiries about the content of this report should be addressed to:

Minerals and Metals Division
Environmental Protection Service
Environment Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0H3

Additional copies of this report are available from:

Environmental Protection Publications
Environmental Technology Advancement Directorate
Environment Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0H3

## REVIEW NOTICE

This report has been reviewed by officials of the Minerals and Metals Division, Environment Canada, and approved for publication. Approval does not necessarily signify that the contents reflect the views and policies of Environment Canada. Mention of trade names or commercial products does not constitute recommendation or endorsement for use.

**This document does not purport to address all of the safety aspects associated with its use. Anyone using this document has the responsibility to consult the appropriate authorities and to establish health and safety practices in conjunction with any regulatory requirements prior to its use.**

## ABSTRACT

This document discusses flow monitoring considerations, equipment and procedures for use with metal mining effluents. The document stresses performance-based methods and how such methods should be applied to the mining industry. Topics addressed include the selection, design and installation of flow measurement systems, the development of operation and maintenance procedures, and the development of reporting protocols. Guidelines are also presented for system accuracy and calibration and the selection of monitoring equipment.

The information presented is to support implementation of the proposed *Metal Mining Effluent Regulations* (MMER) promulgated under the *Fisheries Act* by Environment Canada.

More information on the proposed *Metal Mining Effluent Regulations* and associated guidance documents is available on Environment Canada's Green Lane at www.ec.gc.ca/nopp/metals/english/index.cfm .

## ACKNOWLEDGEMENTS

This document was written by:

| | |
|---|---|
| Eric Luxon | Conor Pacific/WTI |
| Donald Weatherbe | Donald G. Weatherbe Associates Inc. |
| Robert Whyte | Aquafor Beech Limited |

with the kind assistance of:

| | |
|---|---|
| Patrick Finlay | Environment Canada |
| Bill Blakeman | Environment Canada |
| Chris Doiron | Environment Canada |

The following individuals provided input and useful reviews of the document:

| | |
|---|---|
| Paul Rochon | Environment Canada |
| Sam El-Gohary | Government of Newfoundland and Labrador |
| Robert Phillips | Cameco Corporation |
| Jerry Fitchko | Beak International Incorporated |
| William Dainty | Aquafor Beech Limited |
| William Snodgrass | Snodgrass Consulting Services |

# TABLE OF CONTENTS

**Summary** ..... **ix**

**1.0 Introduction** ..... **1**

**2.0 Mine Site Effluent Stream Characteristics** ..... **2**
2.1 Mine Site Effluent Streams ..... 2
2.2 Final Discharge Point(s) ..... 2

**3.0 Flow Measurement** ..... **4**
3.1 Units of Flow Measurement ..... 4
3.2 Flow Measurement and Reporting ..... 4
3.3 Flow Measurement Accuracy ..... 4
3.4 Frequency of Flow Measurement System Calibration and Verification ..... 4

**4.0 Site Selection and Installation Criteria** ..... **5**
4.1 General ..... 5
4.2 Site Selection ..... 5
4.3 Equipment Selection and Installation ..... 5
4.4 Flow Measurement in Remote Locations ..... 6
4.5 Lake/Marine Discharges ..... 6
4.6 Non-Point Source Discharges ..... 6

**5.0 Device Installation, Calibration and Maintenance** ..... **8**
5.1 Preliminary Considerations ..... 8
5.2 Device Installation and *In Situ* Calibration ..... 8
5.3 Maintenance and Inspection ..... 8

**6.0 Operations Documentation and Measurement Data** ..... **10**
6.1 Preparation of Standard Operating Procedures ..... 10
6.2 Logged Information ..... 10
6.3 Data Format and Reporting ..... 10

**7.0 Reference Documents for Flow Measurements** ..... **12**

**Appendix 1 Open Channel Flow Measurement** ..... **14**

**Appendix 2 Closed Conduit Flow Measurement** ..... **24**

**Appendix 3 Methods for Calibration of Flow Measurement Systems** ..... **27**

## List of Tables

**Table 1** ASTM and ISO References of Relevance to Flow Measurement of Metal Mining Effluents ..... 13

## List of Figures

**Figure 1** Typical Mine Site and Effluent Streams ..... 3

**Figure 2** Typical Weir Configuration ..... 15

**Figure 3** Parshall Flume Schematics ..... 17

**Figure 4** Palmer-Bowlus Flume ..... 19

**Figure 5** Open Flow Nozzles and Typical H Flume ..... 21

## SUMMARY

This document provides performance-based guidance for measuring effluent flows from metal mining operations. The performance-based approach permits flexibility in the selection of flow monitoring methods and equipment so long as system accuracy requirements are achieved and can be demonstrated by the reporting of appropriate calibration and verification data. The information provided in this document can assist mine operators in the selection of flow measurement methods, the design and implementation of flow measurement systems, the development of operation and maintenance procedures, and the development of reporting protocols. Guidelines are presented for the selection of monitoring locations and equipment, the determination of system accuracy, system calibration, and the development of Standard Operating Procedures.

The document identifies the recommended elements of a system certification report, presents guidelines for the frequency of system calibration, and identifies the activities that should be undertaken in accordance with documented Standard Operating Procedures. Considerations to be taken into account in locating, selecting, installing and calibrating flow monitoring systems are presented for both open channel and closed conduit systems. Three methods are recommended for the calibration and verification of flow measurement system accuracy: the dilution (tracer) method, the volumetric method and hydraulic model testing.

Guidelines are presented for the development of maintenance and inspection programs, the preparation of Standard Operating Procedures, the logging of information, and the reporting of monitoring data. A discussion of common flow measurement methods for open channels and closed conduits is presented in the appendices.

# 1.0 INTRODUCTION

This document has been prepared to provide performance-based guidance for measuring effluent flows from metal mining operations in support of the proposed *Metal Mining Effluent Regulations* (MMER) that are to be promulgated under the *Fisheries Act* by Environment Canada.

The performance-based approach allows organizations to adapt flow measurement systems appropriate to their situation so long as system accuracy requirements are achieved and can be demonstrated by the reporting of appropriate calibration data. The methods and procedures chosen should, however, be documented as Standard Operating Procedures and used consistently. They should also be available for review upon request by an inspector under the *Fisheries Act* or other federal or provincial legislation.

Performance-based methods identify the measurement standards and data quality objectives that are to be achieved. Defined criteria for system accuracy, design, reliability, calibration, documentation and reporting should be attained in the planning, installation, operation and maintenance of flow measurement systems. The methods and procedures to achieve the standards and quality objectives are, for the purpose of this Guidance Document, considered to be the responsibility of the mine site operators.

The goal of a performance-based method is to provide reasonable flexibility in the choice of flow measurement methods and procedures. This allows for implementation of technical advances in flow measurement techniques, allows for adaptation of techniques to deal with specific mine site conditions, and facilitates continuous improvement and upgrading of Standard Operating Procedures.

This document is intended for use by mine environmental and operational staff and managers, site operators, Environment Canada Inspection and Enforcement personnel, and members of provincial environmental agencies and territorial water boards.

# 2.0 Mine Site Effluent Stream Characteristics

## 2.1 Mine Site Effluent Streams

Effluent streams from mine sites can be discharged to the environment from a variety of sources. Typical effluent streams are summarized in this section and illustrated conceptually in Figure 1.

Process effluent can be described as effluent that comes into contact with process materials or results from the production or use of any raw material, intermediate product, finished product, by-product, waste product or wastewater. It can also include blowdown water, effluent that results from plant cleaning or maintenance operations, and any effluent that comes into contact with cooling water or storm water.

Process effluent can be discharged from a mine site to the environment as one or a combination of the following:

- decanted effluent from an engineered impoundment area, referred to as a "tailings pond" or "tailings management area";
- decanted effluent from a polishing pond or clarification pond typically situated downstream of a tailings pond; and
- treated effluent from an effluent treatment plant.

Mine water comprises effluent from the de-watering of underground or open pit mining operations. Mine water is typically retained and discharged from settling ponds or combined with process effluent. Mine water can also be discharged to the environment from underground and open pit mining operations.

Cooling water is used in various mine processes for the purpose of removing heat from equipment, process operations and materials. Typically, spent cooling water is combined with other effluent streams prior to discharge to the environment, such as a tailings slurry discharge to a tailings pond (i.e., process effluent) or mine water stream.

Seepage comprises water discharged to the environment by seepage from waste management areas (e.g., tailings ponds, waste rock dumps) or wastewater impoundment areas (e.g., tailings ponds, clarification ponds, mine water ponds). Seepage may be intercepted by perimeter collector ditches or drain directly to the environment.

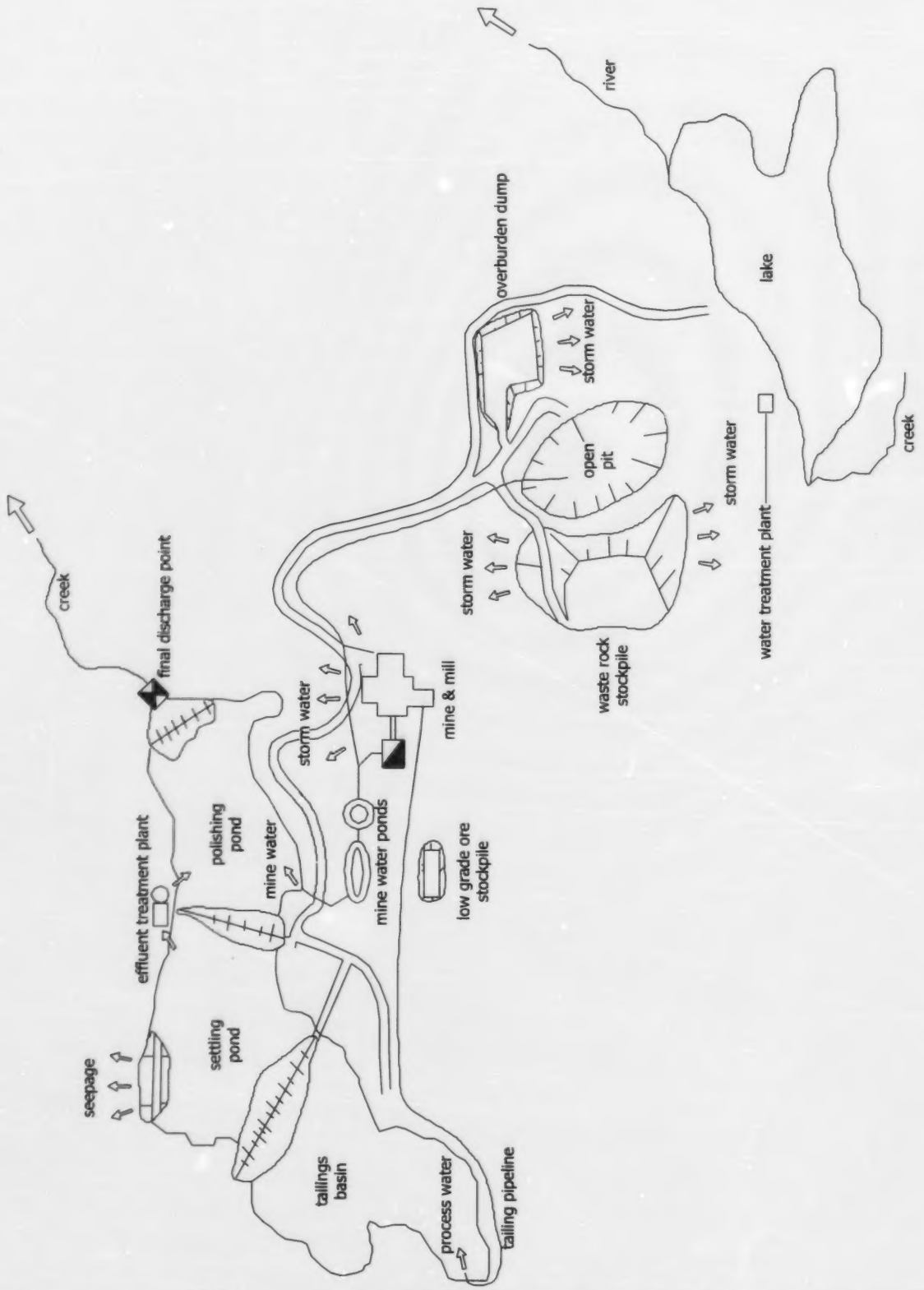
Storm water from a mining operation comprises surface runoff from rainfall, snowmelt and natural drainage. Storm water discharges associated with mining operations can include but are not limited to drainage from mine and mill sites, drainage collection ponds, material handling areas, raw material storage sites and waste disposal areas, including waste rock and overburden dumps. Typically, drainage is diffuse with a large number of discharge points to the environment.

Other effluent streams on a mine site can include but are not limited to sanitary discharges from sewage lagoons, emergency overflows from wastewater impoundment ponds, and backwash waters from potable water treatment plants.

## 2.2 Final Discharge Point(s)

For the purposes of this document, a "final discharge point" means a discharge point identified by the owner or operator of a mine in accordance with the requirements of the proposed MMER. As stated in the proposed MMER, the owner or operator of a mine must monitor the flow from each final discharge point.

**Figure 1 Typical Mine Site and Effluent Streams**



# 3.0 FLOW MEASUREMENT

For the purposes of this document, flow is considered as the volume of effluent discharged over each 24-hour period during which samples are collected from each final discharge point. Flow measurement is the process of quantifying or systematically assessing the flow or volume of the effluent. Effluent volumes can be determined either by integration of continuous flow rate measurement or indirect batch volume measurement.

## 3.1 Units of Flow Measurement

Flow measurements for each 24-hour period should be reported in units of cubic metres ($m^3$) for each effluent stream measured at a final discharge point.

## 3.2 Flow Measurement and Reporting

The flow measurement system should be capable of accurately reporting the volume of effluent from each final discharge point for each 24-hour period. Therefore, the frequency of flow measurement should be established to accurately record flow variations over that period.

## 3.3 Flow Measurement Accuracy

For the purposes of this document, it is assumed that all flow measurement systems, methods, devices or calculations will, as per the requirements of the proposed MMER, enable the determination and reporting of effluent flow volumes to an accuracy of within plus or minus 15% of actual flow.

## 3.4 Frequency of Flow Measurement System Calibration and Verification

The accuracy of all flow measurement systems, methods or devices should be certified by a licensed professional engineer to be within the accuracy requirements identified in this Guidance Document. The certification should be in the form of a report providing the following information:

- general information associated with the on-site calibration procedures including date, time, company, personnel, weather conditions, and equipment used on-site;
- a description of the primary and secondary measuring device, physical site conditions, flow characteristics, and any other pertinent site features;
- a description of the calibration methodology with reference to relevant International Organization for Standardization (ISO) or American Society for Testing and Materials (ASTM) standards;
- reporting of results including an error analysis;
- a statement of certification that the flow measurement system either meets or surpasses the accuracy requirements; and
- the signature and seal of a licensed professional engineer.

Flow measurement accuracy should be verified at regular intervals. Guidelines for frequency of flow measurement system calibration are as follows:

- within 15 days of commissioning of a new flow measurement system;
- at regular intervals not exceeding one year unless otherwise recommended by a licensed professional engineer as part of flow measurement system calibration; and
- within 15 days after the use of an existing flow measurement system with significant alterations, such as a change in method or primary device size.

A quality management and preventive maintenance program should be implemented as part of Standard Operating Procedures in order to ensure continual performance reliability and accuracy of all flow measurement systems. The program should include but not be limited to the following:

- routine cleaning and inspection procedures;
- routine checks on secondary measuring device calibration (i.e., zero setting);
- routine checks of recorded data to detect or diagnose any errors or problems;
- set-up of a filing system for record keeping and reporting; and
- record keeping procedures for inspection and maintenance activities.

Standard Operating Procedures are discussed in Section 6.0.

# 4.0 Site Selection and Installation Criteria

## 4.1 General

Effluents from mine site locations can reach the final discharge points through a variety of means such as natural watercourses or ditches, pipes or culverts, and pumping and pipeline systems.

In selecting an appropriate method for flow measurement, consideration should be given to channel or conduit physical characteristics to ensure that proper hydraulic conditions are present to allow accurate flow measurement. In some instances, it may be necessary to modify site conditions upstream, downstream or at the point of flow measurement.

Engineered hydraulic structures and devices for flow measurement have been developed for installation in both open channels and closed conduits. These are collectively referred to as "primary devices." Examples of primary devices include weirs and flumes for open channels, and orifice plates and venturi tubes for closed conduits. Flow through the primary device produces a measurable signal such as change in water level (head) or differential pressure according to hydraulic principles. A "secondary device" measures this signal by an appropriate sensing element and transmits the information to associated instrumentation for conversion to flow data. Examples of secondary devices include ultrasonic transducers or level sensors, submerger pressure transducers, and differential pressure transmitters. Most secondary measuring devices can be calibrated for specific ranges of flow through built-in microprocessors. They can also give a visual indication of flow in selectable units and can transmit an electronic signal proportional to flow that can be stored (data logged), physically recorded (i.e., chart recorder) or transmitted to a central location for processing.

A complete flow measurement system includes both a primary and secondary measuring device.

## 4.2 Site Selection

In planning the flow measurement system, a site selection process should be undertaken to determine the most effective and accessible location for the final discharge point. The following items should be considered during this process:

- nature of the effluent discharge (i.e., year round or seasonal);
- requirements for upstream water level control (e.g., minimum and maximum operating water levels);
- vehicle and personnel access to the site during inclement weather;
- personnel access to equipment for operation and maintenance (e.g., minimization of confined spaces requiring specialized entry and safety procedures);
- power supply to the site (remote locations may require solar-powered systems);
- protection of the equipment and instrumentation from weather, wildlife and vandalism;
- existing soil conditions and their effects on stability and cost of the installation (e.g., proximity to bedrock, frost line, presence of permafrost); and
- proximity to the receiving water body and conveyance of effluent from the flow measurement system to receiving water.

## 4.3 Equipment Selection and Installation

Once a site has been selected, flow monitoring techniques and equipment should be researched to determine the best system to accurately measure flows at the selected location. The selection of measurement equipment should take into consideration the following:

- the range of flows to be measured;
- accuracy requirements over the range of flows to be measured;
- potential changes in flow with future expansion or changes to the site;
- environmental conditions that may affect the operation of the equipment;
- power requirements;
- approach and discharge channels required for the equipment;
- water quality of the effluent stream (suspended solids and various chemical parameters could have negative effects on the operation of the equipment);

- access to equipment for operation, maintenance and inspection; and
- space available for the installation.

A description of typical primary and secondary devices available for flow measurement in open channels and closed conduits is provided in Appendices 1 and 2.

The detailed design of flow measurement systems should be undertaken by qualified personnel with experience in the design, calibration, inspection and maintenance of flow measurement equipment.

Any equipment shelter considered for protecting or enclosing the system or parts thereof should have adequate space for any necessary or appropriate health and safety equipment in addition to any water quality instrumentation and sampling devices.

Construction and installation considerations include the following:

- the channel or stream to be monitored may need to be temporarily diverted to permit the installation or construction of an engineered hydraulic flow measurement structure;
- on-line flow measurement structures will typically require permits for construction and waterway alteration (off-line systems are preferred); and
- contracting of qualified personnel who are experienced with the system components in order to perform proper installation and commissioning (equipment suppliers often can supply technical staff to assist with equipment installation and commissioning).

The site selection, system design and calibration should be thoroughly documented in report form and be updated as necessary to reflect "as built" conditions. This document should be kept available for review by mine staff, Environment Canada inspectors, and provincial compliance officers.

## 4.4 Flow Measurement in Remote Locations

Measuring flow in remote locations is often problematic due to site access and power restrictions. Design considerations for remote flow measurement systems include the following:

- provision of a reliable power supply;
- provision of a reliable data logging system to record or transmit flow measurement data;
- ability of primary and secondary devices to operate under cold temperatures if insufficient power is available to operate a heating system;
- minimization of maintenance procedures; and
- provision of an alarm or warning system to identify system problems or shutdowns.

With respect to power supply options at remote locations, if conventional power is not available, solar-powered systems are commercially available that can operate standard instrumentation. Routine inspections of remote flow measurement systems would also include monitoring of the power supply.

Where site access is limited, it is important to design a flow measurement system with data logging capabilities and, if the situation permits, to provide the capability to communicate with the mine site for the purposes of data transmission and monitoring of system status. Communication can be via telephone line or communication cable. Alternative technologies for communication include cellular or satellite telephone systems. If data cannot be transmitted to the mine site, the data logger at the flow measurement site will have to be downloaded on a routine basis.

## 4.5 Lake/Marine Discharges

Direct discharge to a lake or marine environment can incorporate any one of the flow measurement methods discussed in this section and outlined in Appendices 1 and 2. Flow measurement must take place at a point prior to entry to the marine environment.

## 4.6 Non-Point Source Discharges

Discharges from a mine site that occur diffusely to the environment are generally not practical to measure independently. These flows typically occur as seepages from on-site wastewater or tailings impoundment areas or as storm water runoff. Should the monitoring of such flows be required, the non-point source flows should be collected by one of the following means:

- a ditch interceptor system to collect and convey effluent to a final discharge point for flow measurement; or
- a collection pond to store and pump effluent on an as-required basis to a final discharge point for flow measurement.

# 5.0 Device Installation, Calibration and Maintenance

General procedures for the installation, calibration and maintenance of flow measurement devices are summarized in this section.

## 5.1 Preliminary Considerations

Flow measurement devices should be shipped to the user after having undergone factory acceptance testing by qualified personnel. The shipment should include documented certification reports and operation and maintenance manuals. All information provided with the flow measurement equipment should be kept and filed, and form part of the documentation of a quality management and preventive maintenance program.

Custom-built devices (e.g., weir plates) are acceptable subject to successful calibration of the flow measurement system.

## 5.2 Device Installation and *In Situ* Calibration

During the installation and commissioning phase, all manufacturers' specifications should be adhered to for providing power or other utility sources and for installing, connecting, programming, operating and maintaining the devices. All aspects of the installation, design and operation should be carefully and accurately documented, and completed by qualified personnel.

All flow measurement systems should be calibrated *in situ* as part of the commissioning phase. *In situ* calibrations are necessary to establish and confirm conformance with the specified requirements for flow measurement accuracy. The calibration method used to establish and confirm flow measurement accuracy should have an accuracy within plus or minus 5% of actual flow.

The following methods provide a level of accuracy acceptable for calibration of flow measurement systems:

- dilution (tracer) method – injection of a solution at a known rate and concentration, and measurement of the fully mixed concentration in the effluent stream to determine the flow (injection solutions can include Rhodamine WT or lithium chloride);
- volumetric method – collection of effluent and weighing over a known time period or measurement of volume of effluent displaced over a known time period; and
- hydraulic model testing – construction of a scale model of the flow measurement system and calibration/verification under laboratory conditions.

These methods apply to both open channel and closed pipe flow measurement systems.

The velocity-area method, whereby in-stream velocity and flow depth are measured to determine flow, can be used as a secondary method to check calibration results but should not be used alone for calibration of flow measurement systems. This is due to difficulties in characterizing hydraulics under non-ideal conditions such as irregular channel characteristics, presence of turbulent flow with eddies or transverse currents, and low flow velocities.

In a case where there is pressure flow in conduits, ultrasonic and electromagnetic methods can be used as a secondary method to check calibration results but should not be used alone for calibration of flow measurement systems. This is due to the potential for non-ideal hydraulic conditions such as partially full pipe flow and air entrainment.

A description of calibration methods is provided in Appendix 3.

## 5.3 Maintenance and Inspection

Flow measurement systems should be clearly identified, and all inspections and maintenance activities should be logged in detail consistent with Standard Operating Procedures (refer to Section 6.0). Inspection and maintenance activities are required to address the following:

- gradual performance deterioration due to such factors as fouling, wear and tear, and signal drift; and

- sudden failure from acts of nature, inundation, component failure and human error.

Inspection of the primary measuring device should include but not be limited to the following:

- check for sedimentation, debris build-up, algae growth and scum build-up;
- check for ice accumulation that would affect flow measurement accuracy;
- check for signs of cracking or separation from the installation superstructure;
- check for signs of differential settling of the installation superstructure;
- check for corrosion of the device and installation equipment; and
- check for failure of any device components.

Inspection of the secondary measuring device should include but not be limited to the following:

- check of the water level (head) measurement to ensure conformance with reported readings;
- check for any growth or material that may be restrictive to the operation of the device;
- check for signs of damage or wear to the installation system and the device;
- check for corrosion of the device and installation equipment; and
- check for failure of any device components.

An inspection checklist for the flow measurement system should be prepared and used as the basis for recording inspections and maintenance activities.

# 6.0 Operations Documentation and Measurement Data

## 6.1 Preparation of Standard Operating Procedures

A Standard Operating Procedure should be prepared for the flow measurement system at each final discharge point. A separate Standard Operating Procedure should be provided for each of the following operations:

- obtaining and recording measurement data, converting measurements to flow data, and describing operating conditions during flow reporting periods;
- performing routine inspection and maintenance procedures; and
- performing routine calibrations of the flow measurement system.

Each Standard Operating Procedure should include the following information:

- The background and objectives of the undertaking.
- Diagrams showing the flow measurement system and surroundings including:
  - access directions and restrictions;
  - identification of all features and devices;
  - location of any reference benchmarks;
  - physical dimensions of installed devices, conduits and channels; and
  - location of safety equipment and electrical supply sources.
- Specifications or descriptions of equipment and devices including:
  - nameplate data;
  - instrument measurement ranges;
  - electrical power supply requirements; and
  - flow conversion tables or calculation coefficients.
- As applicable, descriptions of step-by-step operations to be performed for:
  - routine cleaning and inspection procedures;
  - routine checks on secondary measuring device calibration (i.e., zero setting);
  - maintaining and repairing equipment;
  - record-keeping procedures for inspection and maintenance activities;
  - routine checks of recorded data to detect or diagnose any errors or problems;
  - processing, calculating and reporting flow measurement data; and
  - flow measurement system calibration or verification.
- A list of tools for cleaning and inspection.
- A list of instruments and equipment required for calibrating and verifying accuracy of the flow measurement system.

## 6.2 Logged Information

A bound log book should be dedicated to each specific flow measurement site for record keeping. The log book should include summary sheets prepared during the performance of Standard Operating Procedures and document all activities related to system inspection, testing, calibration and maintenance.

The following information should be included in the log book:

- the name of the mine site and the final discharge point;
- the date, time and description of the general conditions during inspection and maintenance activities;
- inspection results and observations including any detected malfunctions, upsets or errors;
- identification of any test, measurement, calibration or verification procedure that was performed;
- any recommendations or schedules of subsequent activities or corrective actions to be taken as a result of inspection observations or maintenance activities;
- identification of personnel involved; and
- an authorization signature.

## 6.3 Data Format and Reporting

All flow measurement reports should include:

- the name of the mine site and the final discharge point to which the report applies;
- the date, time and duration of all measurements used to generate the report;

- general conditions at the final discharge point over the reporting period (e.g., weather conditions, ongoing maintenance activities, equipment modifications, changes in normal mine or mill operating conditions such as temporary shutdowns or changes to major process operations);
- all relevant flow measurement data;
- identification of data discrepancies due to maintenance activities or technical problems; and
- an authorization signature.

Data should be retained in both electronic format and hard copy for a period of at least five years.

# 7.0 Reference Documents for Flow Measurements

Methods for flow measurement are described in detail in international standards, national standards, association standards and numerous hydraulic textbooks and handbooks. Among the organizations issuing standards are:

- the International Organization for Standardization (ISO);
- the American Society for Testing and Materials (ASTM);
- the American Society of Mechanical Engineers (ASME);
- the British Standards Institute (BSI); and
- the National Institute for Science and Technology (NIST).

This document makes reference to some of the relevant standards from these organizations. Selected ASTM and ISO references pertaining to flow measurement in open channels and closed conduits are summarized in Table 1.

## Table 1 ASTM and ISO References of Relevance to Flow Measurement of Metal Mining Effluents

| ASTM Ref. No. | ISO Ref. No. | Title or Topic Addressed |
|---|---|---|
| **General Standards** | | |
| D5172-91 | | Standard Operating Procedure Development Guide |
| D5612-94 | | Field Program Guide |
| D5640-95 | 8363-1986 (E) | General Guidelines for the Selection of Methods |
| D4375-96 | | Basic Statistics – Committee D-19 on Water |
| | 5168-1978 (E) | Estimation of Uncertainty of a Flow Rate Measurement |
| | 7066-1: 1989 (E) | Assessment of Uncertainty – Linear Calibration Devices |
| | 7066-2: 1988 (E) | Assessment of Uncertainty – Non-linear Calibration Devices |
| | 4006-1977 (E/F) | Vocabulary and Symbols |
| **Open Channel Flow Standards** | | |
| | 4373-1979 (E) | Open Channel – Water Level Measuring Devices |
| D5674-95 | 8368-1985 (E) | Flow Gauging |
| D1941-91 | 9826-1992 (E) | Parshall Flumes |
| D5390-93 | 4359-1983 (E) | Rectangular, Trapezoidal and U-shaped Flumes |
| D5242-92 | 1438/1-1980 (E) | Weirs and Venturi Flumes – Part 1: Thin Plate Weirs |
| D5614-94 | 3846-1977 (E) | Weirs and Flumes – Free Overfall (Rectangular Broad-crested Weirs) |
| D5242-92 | 4377-1982 (E) | Flat-V Weirs |
| | 4360-1984 (E) | Weirs and Flumes – Triangular Profile Weirs |
| | 8333-1985 (E) | Weirs and Flumes – V-shaped Broad-crested Weirs |
| | 4371-1984 (E) | By Weirs and Flumes – End-depth Method for Estimation of Flow in Weirs and Flumes |
| | 4374-1982 (E) | Round-nose Horizontal Crest Weirs |
| D5389-93 | 6418-1985 (E) | Ultrasonic (Acoustic) Velocity Meters |
| D3858-95 | 748-1979 (E) | Velocity-area Methods |
| D4409-95 | 2537: 1988 (E) | Rotating Element Current Meters |
| D5089-95 | | Open Channel Electromagnetic Current Meters |
| D5541-94 | | Stage Discharge Relation |
| **Closed Channel Flow Standards** | | |
| | 6416-1985 (E) | Measurement of Discharge by the Ultrasonic (Acoustic) Method |
| | 3313-1974 (E) | Pulsating Flow Orifice Plates, Nozzles or Venturi Tubes |
| | 5167-1980 (E) | Full Pipe Orifice Plates, Nozzles and Venturi Tubes |
| | 6817-1980 (E) | Electromagnetic Flow Meters |
| | 7145-1982 (E) | Method of Velocity Measurement at One Point of the Cross-section |
| **Estimation Methods** | | |
| D5130-95 | 1070-1973 (E) | Slope-area Method |
| D5243-92 | | Culverts |
| D5388-93 | | Step-backwater Method |
| **Calibration Methods** | | |
| | 8316: 1987 (E) | Collection of Liquid in a Volumetric Tank |
| D5613-94 | 9555-1: 1994 (E) | Tracer Dilution Methods – Steady Flow – Part 1: General |
| | 9555-3: 1992 (E) | Tracer Dilution Methods – Steady Flow – Part 3: Chemical Tracers |
| | 9555-4: 1992 (E) | Tracer Dilution Methods – Steady Flow – Part 4: Fluorescent Tracers |

# APPENDIX 1 OPEN CHANNEL FLOW MEASUREMENT

## Introduction

This appendix provides information on open channel flow measurement, including general guidelines for site selection and a description of the more commonly used techniques. A substantial amount of the information provided in this appendix was obtained from the ISCO Open Channel Flow Measurement Handbook (Grant and Dawson, 1995). Where applicable, this information has been augmented based on the experience of the authors in the design, installation and calibration of flow measurement systems.

## Site Selection

Selection of flow measurement locations for open channel application should take into consideration the general design information summarized below.

- A stream or channel with irregularly formed sides or bottom, particularly those that are not engineered or constructed channels, should be avoided. Any irregular surface, slope, bottom or possible protrusion (rocks, vegetation, etc.) can contribute to an irregular flow profile and affect measurement accuracy.
- The flow measurement site should not be subject to either erosion (i.e., of channel surfaces) or sedimentation. A change in channel geometry could alter the performance of the primary device, such as changing the site water level-discharge relationship, and affect measurement accuracy.
- The channel should be straight and uniform for a distance upstream of the flow measurement site of at least 10 times the maximum expected head of liquid. Some devices may require a minimum straight upstream distance of 20 times. For weirs and certain types of flumes (e.g., Parshall flumes), the channel should have minimal or no slope.
- The flow approaching the flow measurement site should be well distributed across the channel, and relatively free of turbulence, waves and eddies.
- The channel downstream of the flow measurement site should permit free discharge from the site for the range of flow to be measured without "backwatering" or submerging the site.

  Exceptions to this rule are possible with the use of certain primary devices, such as Parshall flumes, which can account for this effect by head or water level measurement at a second location.

## Primary Measuring Devices

Many of the primary devices used for open channel flow measurement are hydraulic structures identified as weirs and flumes. Several of the more common weirs and flumes used at mine sites are briefly described in the following subsections.

### *Weirs*

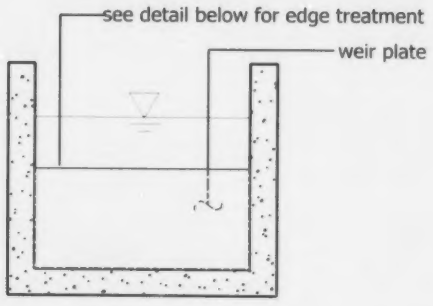
Description

Weirs are hydraulic structures consisting of an obstruction such as a dam or bulkhead placed across the open channel with a specially shaped opening or notch. The weir results in an increase in the water level, or head, which is measured upstream of the structure. Water level-discharge relationships are available for standard-shaped openings or notches.

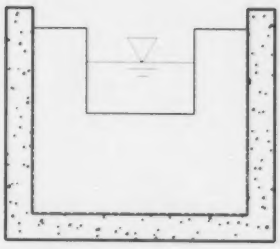
Weirs are called sharp-crested if their crests are constructed of thin metal plates, and broad-crested if they are made of wide timbers or concrete. Water level-discharge relationships can be applied and meet accuracy requirements for sharp-crested weirs if the installation is designed and installed consistent with established ASTM and ISO standards. Flow measurement installations with broad-crested weirs will meet accuracy requirements only if they are calibrated. Calibration methods are summarized in Appendix 3.

The most common weirs used are sharp-crested with either a v-notch or a rectangular-shaped opening. Several examples are shown in Figure 2. The v-notch weir is typically used to measure low flows within a narrow operating range. The rectangular weir is able to measure higher flows than the v-notch weir and over a wider operating range. As shown in Figure 2, a rectangular weir may be designed with or without end contractions. Other available weirs are the trapezoidal (Cipolletti) weir, Sutro (proportional) weir and compound weirs (combination of the previously mentioned weir shapes).

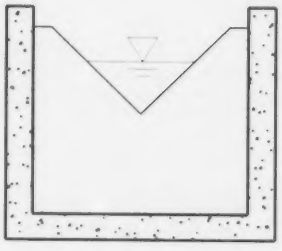
## Figure 2 Typical Weir Configuration



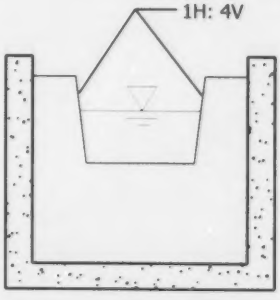

rectangular weir without end contractions



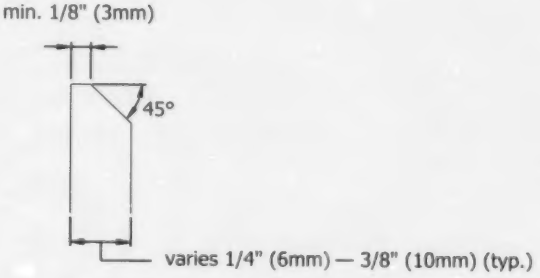
rectangular weir with end contractions



V-notch or triangular weir
(typical angles 22.5°, 30°, 45°, 60°, 90°, 120°)




trapezoidal or Cipolletti weir




detail — typical weir plate edge treatment
not to scale

Water level measurement is taken upstream of the weir at a distance equal to four to five times the expected maximum head. The water level measurement is referenced to the bottom point (apex) of a v-notch weir and the horizontal crest of other-shaped weirs.

Installation

- Access to all sections and components of the weir and associated secondary measuring device(s) should be provided to permit regular inspection and maintenance.
- Weir plates for sharp-crested weirs should be a minimum of 6 mm thick with a 45° downstream chamfered edge. The thickness of the weir plate is dependent on the weir width and head of water to be managed. Typical plate widths are 6 mm, 8 mm and 12 mm.
- Weir plates for sharp-crested weirs should be constructed of stainless steel.
- A staff gauge for head level measurement should be permanently installed upstream of the weir at an appropriate location to provide a quick visual indication of the operating water level.
- Secondary measuring devices should be installed directly in or over the approach channel or in a stilling well.
- The weir should be sized such that the maximum operating flow is about 70% to 100% of maximum weir capacity. Oversizing the weir may result in loss of accuracy at low flows.

Periodic maintenance and calibration

- The weir plate should be kept clean and free of fouling growth and ice build-up.
- The upstream section of the weir installation should be kept free of sediment accumulation and other debris.
- The "zero" reference of the secondary measuring device should be checked regularly under a "no flow" condition. If this is not possible, a calibration plate can be installed to check referencing of the secondary measuring device.
- As applicable, the floor of the stilling well and the intake line should be kept clean and free of sediment.
- Several other items to check during periodic inspections include leveling of the weir crest and vertical plumb of the weir plate, elevation of the weir crest relative to an established benchmark (e.g., check for differential settling of the installation) and condition of the weir plate (e.g., check for damage and excessive rusting).

### *Parshall Flumes*

Description

The Parshall flume is a hydraulic structure of rectangular cross-section with a narrow section and drop in the floor. An example is shown in Figure 3. This device constricts and reshapes the flow through the structure, developing a hydraulic head proportional to flow. This flume consists of a level converging section at the inlet, a throat and a diverging section at the outlet.

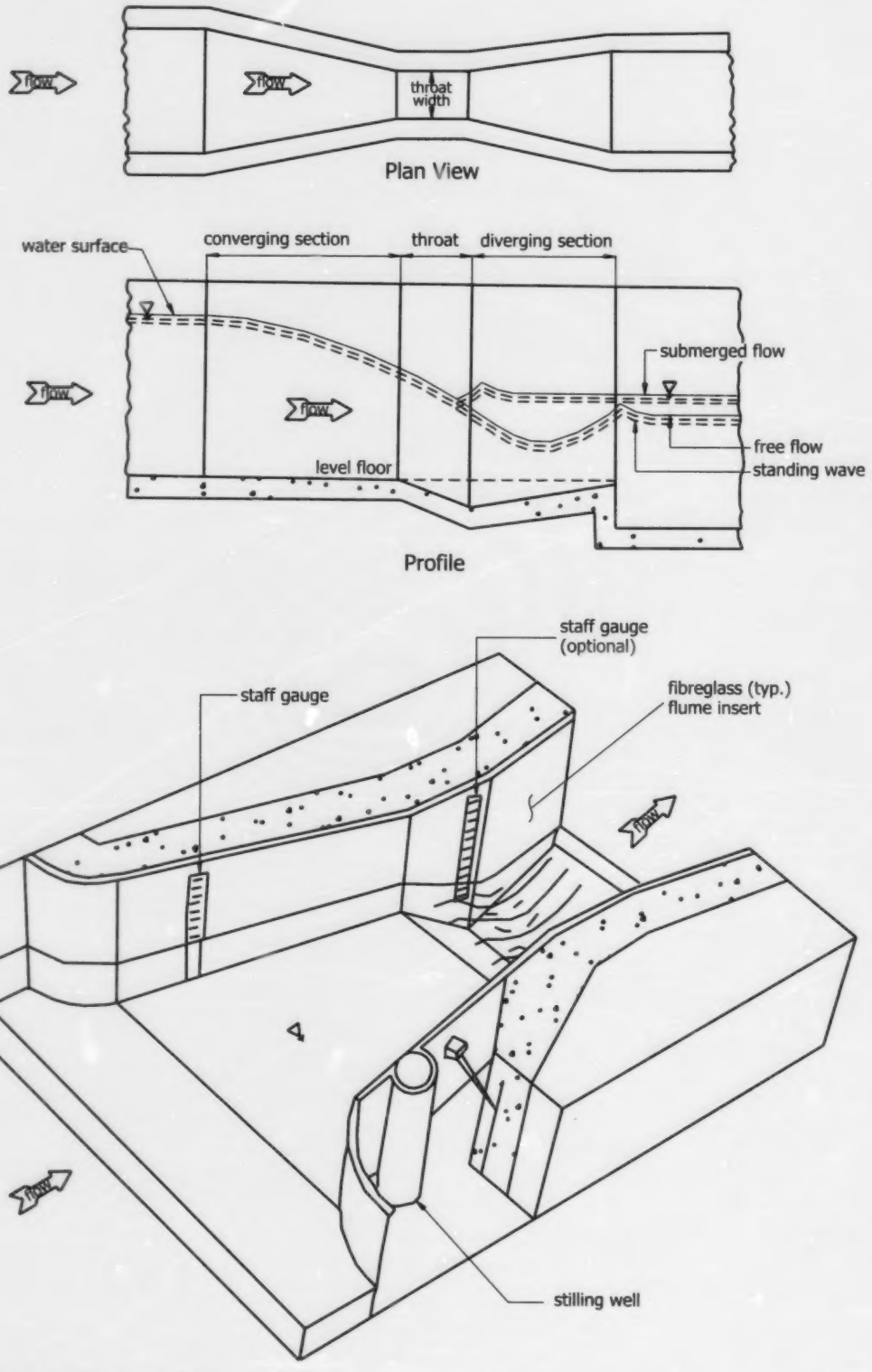
The converging section at the upstream end of the flume results in acceleration of the flow entering the structure. This effect tends to scour the flume surfaces and prevent sediment accumulation. Head measurement is performed in the converging section immediately upstream of the throat. The throat is located in the middle of the flume and has a rectangular cross-sectional shape with a downward sloping bottom. The size of the flume is designated by the width of the throat.

The primary advantages of the Parshall flume include a self-cleaning capability, ability to measure flow over a wide operating range and relatively low head loss. Dimensions are available for this type of flume for throat widths from 25 mm to 15.2 m. The flumes can be either constructed on-site from a variety of materials (e.g., wood, concrete, sheet metal) or obtained from manufacturers as prefabricated inserts or structures. The inserts, which are commonly fibreglass, are typically installed in a concrete superstructure constructed on-site to suit the flow measurement location.

Installation

- The entire structure should be fixed in place with adequate support so that the floor section is longitudinally and transversely leveled, and channel sides will not buckle or distort under high flow conditions.
- Access to all sections and components of the flume and associated secondary measuring device(s) should be provided to permit regular inspection and maintenance.
- A staff gauge for head level measurement should be permanently installed on a side wall of the converging section at the appropriate location to provide a quick visual indication of the operating water level.

**Figure 3 Parshall Flume Schematics**




**(Adapted from Free Flow Inc., 1991)**

- A stilling well should be provided for head or water level measurement by the secondary measuring device. The stilling well would be connected to the flume at the appropriate location in the converging section by a small-diameter intake pipe. The floor of the stilling well should be either equal to or below the elevation of the floor of the converging section of the flume.
- The flume should be sized such that the maximum operating flow is about 70% to 100% of maximum flume capacity. Oversizing the flume may result in loss of accuracy at low flows.

Periodic maintenance and calibration

- The flume floor and walls should be kept clean and free of fouling growth. Algae build-up is common on fibreglass flume inserts.
- The floor of the flume should be kept free of sediment and debris.
- The floor of the stilling well and the intake line should be kept clean and free of sediment.
- The "zero" reference of the secondary measuring device should be checked regularly under a "no flow" condition. If this is not possible, a calibration plate can be installed to check referencing of the secondary measuring device.
- Several other items to check during periodic inspections include transverse and longitudinal leveling of the floor of the flume (e.g., converging section), elevation of the flume relative to an established benchmark (e.g., check for differential settling of the installation) and separation of flume inserts from installation superstructure, as applicable.

### *Palmer-Bowlus and Leopold-Lagco Flumes*

Description

Similar to the Parshall flume, these devices constrict and reshape the flow, developing a hydraulic head proportional to flow. These flumes consist of a converging section at the inlet, a throat and diverging section at the outlet. An example is shown in Figure 4.

The converging section at the upstream end of the flume results in acceleration of the flow entering the structure. This effect tends to scour the flume surfaces and prevent sediment accumulation. Head measurement is performed upstream of the converging section. The throat is located in the middle of the flume and has a trapezoidal cross-sectional shape for a Palmer-Bowlus flume and a rectangular cross-sectional shape for a Leopold-Lagco flume. The size of the flume is designated by the diameter of the pipe in which it is to be installed.

The primary advantages of these flumes are similar to those of the Parshall flume. The main difference with this type of flume is that it is suited for installation in existing round conduits (e.g., pipes and culverts) or rectangular conduits. Standard Palmer-Bowlus flumes are available to fit pipe sizes from 100 mm to 1,070 mm in diameter. The flumes, which can be obtained from manufacturers as prefabricated inserts, are installed directly into the conduit and sealed in place.

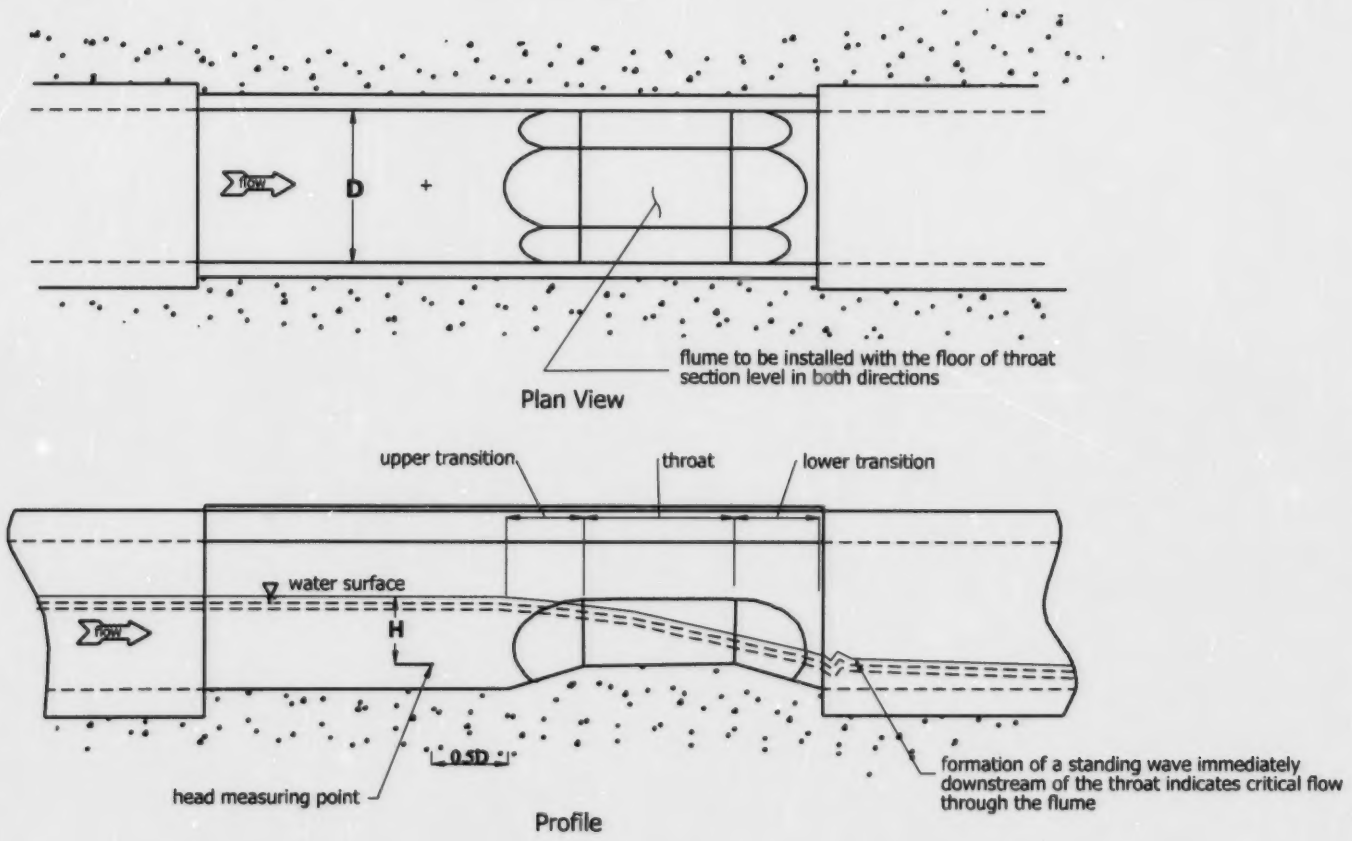
Installation

- The flume must be located at a section of the conduit that has a relatively straight and smooth approach section approximately 10 conduit widths upstream of the device. The maximum permissible pipe slope is 2%.
- The entire structure should be fixed in place with adequate support so that the floor section and channel sides will not buckle or distort under high flow conditions.
- Access to all sections and components of the flume and associated secondary measuring device(s) should be provided to permit regular inspection and maintenance.
- A staff gauge for head level measurement should be permanently installed on a side wall of the converging section at the appropriate location to provide a quick visual indication of the operating water level.
- A stilling well should be provided for head or water level measurement by the secondary measuring device. The stilling well would be connected to the flume at the appropriate location upstream of the converging section by a small-diameter intake pipe. The floor of the stilling well should be either equal to or below the elevation of the floor of the converging section of the flume.
- The flume should be sized such that the maximum operating flow is about 70% to 100% of maximum flume capacity. Oversizing the flume may result in loss of accuracy at low flows.

Periodic maintenance and calibration

- The flume floor and walls should be kept clean and free of fouling growth. Algae build-up is common on fibreglass flume inserts.

**Figure 4 Palmer-Bowlus Flume**




1. Palmer-Bowlus Flumes are designed to operate properly when laminar flow conditions are present. Channel turns, tee, elevation drops and other disturbance-creating situations immediately upstream (25 pipe diameters) of the flume should be avoided. Excessive slope in upstream piping will result in poor accuracy due to turbulence at the measuring point. Small-size lines to have a 2% maximum slope; larger sizes to have less slope.
2. The downstream channel should have sufficient slope to maintain critical flow through the throat of the flume and prevent the flume from becoming submerged.
3. Head measurements are taken upstream of throat at D/2 point. The zero flow level occurs at the same elevation as the throat. Head measurement (H) to be taken with zero even with floor of throat.

**(Adapted from Free Flow Inc., 1985)**

- The floor of the flume should be kept free of sediment and debris.
- The floor of the stilling well and the intake line should be kept clean and free of sediment.
- The "zero" reference of the secondary measuring device should be checked regularly under a "no flow" condition. If this is not possible, a calibration plate can be installed to check referencing of the secondary measuring device.
- Several other items to check during periodic inspections include transverse and longitudinal leveling of the floor of the flume (e.g., converging section), elevation of the flume relative to an established benchmark (e.g., check for differential settling of the installation) and separation of flume inserts from installation superstructure, as applicable.

### *H-type Flumes, Parabolic Nozzles*

#### Description

These are examples of primary measuring devices suitable for installation on the end of a conduit where there is a free-falling discharge. An example is shown in Figure 5. The H-type flume and parabolic nozzle constrict the flow exiting a conduit or pipe. The H-type flume has a rectangular entrance section with a trapezoidal outlet. The outlet is narrow at the bottom and wide at the top. The parabolic nozzle has a circular entrance section with a parabolic outlet. Similar to weirs and flumes, these devices have predetermined relationships between depth of water in the device and flow rate.

There are three versions of the H-type flume to permit measurement of flow over a wide range (e.g., HS, H, and HL flumes). This type of flume is designated by maximum depth attainable in the flume. Standard flume sizes are 120 mm to 1,370 mm. The standard sizes for parabolic nozzles are 150 mm to 610 mm.

#### Installation

- The flume or nozzle should be located at a section of the conduit that has a relatively straight and smooth approach section approximately 10 throat diameters upstream of the device. The maximum permissible conduit slope is 1%.
- The entire structure should be fixed in place with adequate support so that the floor section and sides will not buckle or distort under high flow conditions.
- Access to all sections and components of the flume/nozzle and associated secondary measuring device(s) should be provided to permit regular inspection and maintenance.
- The secondary measuring devices for H-type flumes should be installed either directly above the flow in the flume or in an attached stilling well. The secondary measuring devices for parabolic nozzles should be installed directly above the flow in the nozzle.
- The flume or nozzle should be sized such that the maximum operating flow is about 70% to 100% of maximum flume capacity. Oversizing the device may result in loss of accuracy at low flows.

#### Periodic maintenance and calibration

- The flume or nozzle should be kept clean and free of fouling growth, sediment and debris.
- The "zero" reference of the secondary measuring device should be checked regularly under a "no flow" condition. If this is not possible, a calibration plate can be installed to check referencing of the secondary measuring device.
- Several other items to check during periodic inspections include elevation of the flume or nozzle relative to an established benchmark (e.g., check for differential settling and distortion of the installation) and separation of the device from the upstream conduit.

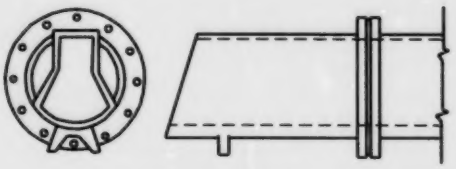
## Secondary Measuring Devices

A secondary measuring device is used in conjunction with a primary measuring device and has two functions. The first function is to measure liquid level in the primary device. The second function is to convert the liquid level measurement to a flow rate based on a known water level-discharge relationship. This section addresses the function of the liquid level measurement.

Secondary measuring devices used for measuring water level (head) include the following:

- float system;
- bubbler tubes (measures back pressure from air discharge into the water);
- submerged pressure sensors (various types of mechanical or electrical pressure-sensing devices);
- capacitance probes (electrical current probes); and

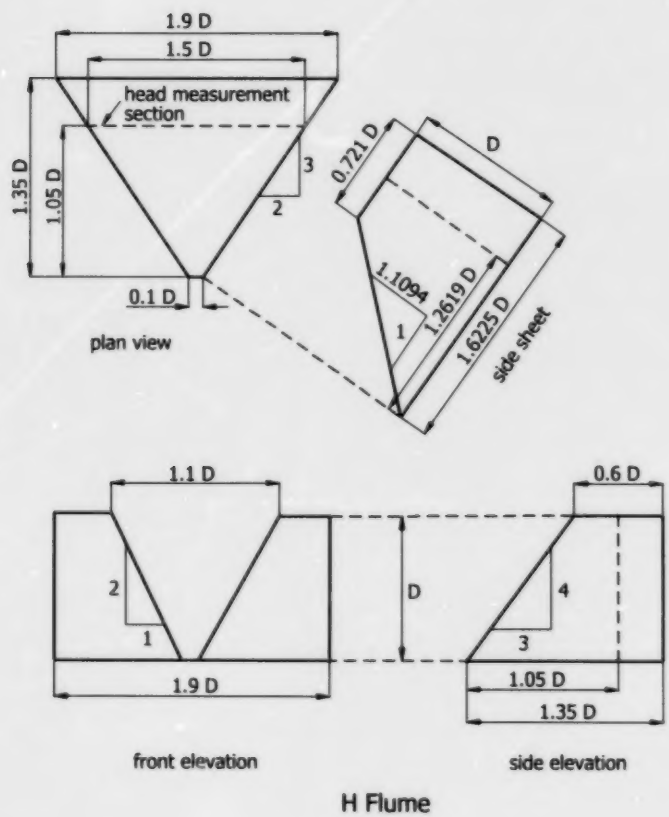
**Figure 5 Open Flow Nozzles and Typical H Flume**



A. Kennison nozzle (Q proportional to H)

B. parabolic nozzle (Q proportional to $H^2$)

Open Flow Nozzles




H Flume

**(Adapted from Grant and Dawson, 1995)**

- ultrasonic level sensors (mounted above the water to transmit sound waves to the free surface of the water).

Each device has benefits and limitations. The selection of a secondary measuring device should be made with a complete understanding of the site conditions, primary measuring device, and operation and maintenance conditions.

## Velocity-Area Methods

This method of flow measurement does not employ a hydraulic structure or primary device in the open channel or partially filled pipe.

### Description

Direct measurements are made of the velocity and area (derived from level and channel geometry) of the fluid stream. Flow is calculated as the product of velocity times area following the continuity equation. A velocity-area flow measurement system consists of the required set of sensors installed into the channel or conduit at a suitable location and the associated signal-processing instrumentation. The computation of flow from the sensor measurements incorporates the geometrical dimensions of the stream, as well as site-specific velocity correction coefficients.

This method is applied directly to improved or man-made channels and partially filled conduits or pipes. Hydraulic structures (primary devices) are not required. The method requires only installation of a suitable sensor component assembly that presents minimal obstruction to the fluid stream.

Velocity-area methods are adaptable to any shape and size of conduit or channel. However, most methods require at least a minimum depth and velocity of flow for the installed sensors to perform accurately. To achieve the required flow measurement accuracy in higher flow rates, it may be necessary to mount several velocity sensors in the flow stream. One velocity sensor is often not adequate to characterize the average velocity of the flow regime.

Several types of velocity measurement devices are available on the market that use one of the following measurement methods:

- magnetic principles;
- ultrasonic transit time; and
- Doppler acoustic velocity.

Each method requires a separate head measurement device. The commonly used techniques for water level measurement with the velocity-area method are a submerged pressure transducer and an ultrasonic level sensor mounted above the flow.

### Installation

- The channel at the location of flow measurement should be relatively straight over a distance equivalent to 10 times the width of the channel upstream and downstream. The surfaces of the channel or pipe should be smooth and free of irregularities and obstructions to avoid producing a disturbed velocity profile.
- The location of the velocity sensor(s) should ensure an accurate representation of the flow velocity.
- The water depth at low flows should be sufficient to allow proper operation of the velocity sensor(s).
- The sensor assembly is usually installed on a mounting band or support structure designed to suit the contour of the stream, channel or conduit. The sensors should be well fastened or supported within the channel.
- Access to all sensor assembly components and associated secondary measuring device(s) should be provided to permit regular inspection and maintenance.
- A staff gauge for head level measurement should be permanently installed at an appropriate location to provide a quick visual indication of the operating water level.
- The liquid level sensor should be calibrated and corrected to the zero reference level of the bottom or invert of the channel or pipe.

### Periodic maintenance and calibration

- The flow measurement location and sensor(s) should be kept clean and free of fouling growth, sediment accumulation and debris.
- The "zero" reference of the secondary measuring device should be checked regularly under a "no flow" condition. If this is not possible, a calibration plate can be installed to check referencing of the secondary measuring device.

## References

Free Flow Inc. 1985. Palmer-Bowlus Flume Construction. Specification 25, 779a. Omaha, Nebraska.

Free Flow Inc. 1991. Parshall Flumes for Open Channel Flow Measurement. Bulletin PF. Omaha, Nebraska.

Grant, D.M., and B.D. Dawson. 1995. ISCO Open Channel Flow Measurement Handbook. Fourth Edition. Lincoln, Nebraska: ISCO Environmental Division.

# APPENDIX 2 CLOSED CONDUIT FLOW MEASUREMENT

## Introduction

This appendix provides information on closed conduit flow measurement, including general guidelines for site selection and a description of the more commonly used techniques. Closed conduit flow refers to fluid movement through a conduit in which the fluid occupies the full cross-section and is under pressure. For most effluent applications, the fluid travels under positive pressure (e.g., pumped flow through a pipeline or piped discharge from the outlet of a tank or pond). Flow under negative pressure exists when the flow is through a siphon.

## Site Selection

In selecting a suitable site for flow measurement on a closed conduit or pipe, the following should be taken into consideration.

- The conduit or pipe should be of regular shape and well formed throughout the measuring section. Irregular inner surfaces or protrusions, such as severe corrosion or tuberculation, can contribute to irregular flow profiles, turbulence and swirl, affecting measurement accuracy.
- The conduit or pipe should be straight and uniform for a minimum of 10 pipe diameters upstream. Pipe bends, fittings, valves, reducers, expanders, strainers/filters and flow obstructions within 10 pipe diameters upstream may affect flow measurement accuracy.
- Sites should be avoided where sedimentation of solid particles within the conduit may occur as a result of intermittent or low flows or low flow velocities.
- The pipe or conduit should be fully suited to the range in operating flows.

## Closed Conduit Measurement Devices

There are various methods to measure flow in closed conduits or pipes. The most commonly used techniques are velocity-area methods (e.g., magnetic flow meter, transit time flow meter) and differential pressure methods (e.g., venturi tube, orifice plate). Other techniques include rotor methods (e.g., turbine meter, propeller meter), vortex shedding, and target and positive displacement methods (e.g., disc meter, piston meter). These less commonly used techniques are not discussed in this appendix.

## Velocity-Area Methods – Magnetic Flow Meters

These types of flow meters measure the average axial velocity of the fluid. Flow rate is determined by the multiplication of this velocity measurement with the known constant cross-section of the conduit or pipe. A magnetic flow meter consists of a specially constructed section of conduit, known as a "flow tube," mounted directly into the conduit or pipeline configuration. Flow velocity is determined with sensors mounted in the flow tube that operate based on electromagnetic principles.

The flow tube, the system's primary device, creates a magnetic field through which the fluid must pass. Conductive fluids induce an electrical potential or voltage across the fluid, following Faraday's principle. This voltage is proportional to the velocity of the fluid and is sensed by the sensors (electrodes) that are mounted in the flow tube.

The secondary device, or converter/transmitter, measures the induced voltage across the electrodes and converts it to a process signal proportional to the flow rate. Typically, the converter also provides a transmitted analogue or frequency output (scaled in pulses per unit of flow) and is often provided with a local visual display of flow rate and total flow volume.

Magnetic flow meters are available from a number of manufacturers in common pipe sizes ranging from a few millimetres to two metres. For installation, the devices can be provided with threaded connections or bolt flanges, or they can be supplied as a wafer style for installation between matched flanges.

### Installation

- The magnetic flow meter tube should be installed in a uniform section of conduit or pipe that is straight for a minimum of 10 pipe diameters upstream and 3 pipe diameters downstream of the device.
- The magnetic flow meter should be installed at a

location not subject to turbulence of the flow profile caused by fittings, pumps or valves adjacent to the installation.
- The diameter of the tube liner should match the diameter of the adjoining pipe so that it does not obstruct flow and wear out prematurely.
- The installation of the device should be made in a location that is always flowing full. The flow tube can be installed vertically or horizontally with an elevated discharge or in-line "gooseneck" downstream of the meter.
- The flow meter should be located in an accessible location for ease of cleaning and servicing. Consideration should be given to provision of a by-pass around the meter to permit removal of the device for inspection and maintenance.

Periodic maintenance of the flow meter

- On a routine basis, the magnetic flow meter's self-checking features and built-in diagnostic routines should be used to check the flow measurement system.
- The primary measuring device grounding, reference voltage and resistance readings of the sensors should be checked periodically to ensure these values are within the manufacturer's operating specifications.
- Coating of the sensors and sediment accumulation in the flow tube should be checked periodically and the system components cleaned, as required.

## Velocity-Area Methods – Ultrasonic (Transit Time) Flow Meter

Transit time flow meters employ the travel time difference method to determine the velocity of fluid in a conduit or pipe. Ultrasonic pulses are transmitted diagonally across the fluid stream upstream and downstream between two fixed transducers. The difference in travel or transit time is directly proportional to the velocity of the fluid in the conduit and is used to compute flow.

Transit time meters can be supplied with transducers welded to "spool" pieces at the designated locations or with transducers designed to be clamped externally onto the conduit or pipe.

Installation

- The ultrasonic flow meter should be installed in a uniform section of conduit or pipe that is straight for a minimum of 10 pipe diameters upstream and 3 pipe diameters downstream of the device.
- The ultrasonic flow meter should be installed at a location not subject to turbulence of the flow profile caused by fittings, pumps or valves adjacent to the installation.
- The ultrasonic flow meter should be installed on conduit or pipe of suitable material (e.g., the material must be able to conduct ultrasonic pulses). Porous material such as concrete and cast iron are not suitable.
- The installation of the device should be made in a location that is always flowing full. The device can be installed vertically or horizontally with an elevated discharge or in-line "gooseneck" downstream of the meter. Aeration and particulate matter in the fluid can attenuate the ultrasonic signal and must be kept within acceptable limits.
- The flow meter should be located in an accessible location for ease of cleaning and servicing. Consideration should be given to provision of a by-pass around the meter to permit removal of the device for inspection and maintenance.

Periodic maintenance and calibration

- On a routine basis, the ultrasonic meter's self-checking features and built-in diagnostic routines should be used to check the flow measurement system.
- The primary measuring device sensor performance should be checked periodically with a calibration block to ensure that signal strength and processing are acceptable and within the manufacturer's operating specifications.
- Coating of the conduit and sediment accumulation in the device should be checked periodically and the system components cleaned, as required.

## Differential Pressure Methods

These are precision-machined primary devices installed in a conduit or pipe that is operated full of fluid under pressure. As the fluid passes through the device, a geometrical constriction creates a pressure drop (differential pressure) that is related to the flow. Differential pressure is sensed upstream of the primary device and at a second location either downstream or in the constriction (throat) at specific points. Two common differential pressure methods for flow measurement are venturi tubes and orifice plates.

Venturi tubes are available for common pipe sizes from 50 mm to 910 mm. These flow devices come in a number of configurations and can be installed with threaded connections, with bolt flanges, or between matched flanges. A venturi tube has less head (pressure) loss than an orifice plate.

Orifice plates are essentially a flat metal disc with an accurately sized and bored circular hole. These devices are installed between a pair of flanges in the pipeline. It is critical that the bored hole is concentric with the internal pipe diameter. Orifice plates are available for common pipe sizes from 25 mm to 450 mm.

## Installation

- Both venturi tubes and orifice plates should be installed in a uniform section of conduit or pipe that is straight for a minimum of 3 to 12 pipe diameters upstream and 3 pipe diameters downstream of the device. The minimum requirement for length of the upstream straight section varies for each device and associated variants. The minimum straight piping lengths provided should be consistent with manufacturer's recommendations.
- The differential pressure meter should be installed at a location not subject to turbulence of the flow profile caused by fittings, pumps or valves adjacent to the installation.
- The installation of the device should be made in a location that is always flowing full. The device can be installed vertically or horizontally with an elevated discharge or in-line "gooseneck" downstream of the meter.
- The flow meter should be located in an accessible location for ease of cleaning and servicing. Consideration should be given to provision of a by-pass around the meter to permit removal of the device for inspection and maintenance.

## Periodic maintenance and calibration

- On a routine basis, the self-checking features and built-in diagnostic routines associated with the secondary measuring device should be used to check the flow measurement system.
- The differential pressure transmitter should be periodically isolated and a pressure calibrator used to check that performance is acceptable and within the manufacturer's operating specifications.
- Coating and sediment accumulation in the primary device should be checked periodically and the surfaces cleaned, as required. Venturi tubes are essentially self-cleaning. However, orifice plates mounted in a horizontal conduit can accumulate sediment, which may affect the accuracy of flow measurement.

# APPENDIX 3 METHODS FOR CALIBRATION OF FLOW MEASUREMENT SYSTEMS

## Introduction

*In situ* calibrations are necessary to establish and confirm conformance with the specified requirements for flow measurement accuracy. All flow measurement systems for final discharge points should be calibrated *in situ* as part of the commissioning phase. The calibration method used to establish and confirm flow measurement accuracy should have an accuracy within plus or minus 5%.

The following flow measurement methods provide a level of accuracy acceptable for calibration of flow measurement systems:

- dilution (tracer) method – injection of a solution at a known rate and concentration, and measurement of the fully mixed concentration in the effluent stream to determine the flow (injection solutions can include Rhodamine WT or lithium chloride);
- volumetric method – collection of effluent and weighing over a known time period or measurement of volume of effluent displaced over a known time period; and
- hydraulic model testing – construction of a scale model of the flow measurement system and calibration/verification under laboratory conditions.

These methods apply to both open channel and closed pipe flow measurement systems.

The velocity-area method, whereby in-stream velocity and flow depth are measured to determine flow, can be used as a secondary method to check calibration results but should not be used alone for calibration of flow measurement systems. This is due to difficulties in characterizing hydraulics under non-ideal conditions such as irregular channel characteristics, presence of turbulent flow with eddies or transverse currents, and low flow velocities.

For pressure flow in conduits, ultrasonic and electromagnetic methods can be used as a secondary method to check calibration results but should not be used alone for calibration of flow measurement systems. This is due to potential for non-ideal hydraulic conditions such as partially full pipe flow and air entrainment.

## Dilution (Tracer) Method

Using this method, a tracer is injected at a constant rate into the effluent stream and sampled downstream at a location where the tracer and effluent are fully mixed. With the known tracer concentration, known tracer injection rate and known tracer concentration in the fully mixed effluent stream, effluent flow can be determined based on the principle of "continuity."

A detailed description of this method is provided in ISO 9555 – Measurement of liquid flow in open channels – Tracer dilution methods for the measurement of steady flow (ISO, 1994).

Typical tracers used with this method are Rhodamine WT and lithium chloride. Selection of an appropriate tracer should be made based on characteristics of the effluent stream and experience with the tracer and respective analytical techniques. For instance, Rhodamine WT is a versatile tracer that can be measured *in situ* during testing by a fluorometer and at very small concentrations (e.g., parts per trillion); however, the test procedure is complex and requires care to ensure that results are not affected by experimental error. Rhodamine WT concentration is sensitive to temperature, and fluorometer calibration requires preparation of precise dilution solutions. Checks also need to be made for dye consumption in the effluent stream (e.g., effluent streams with high suspended solids concentrations and organic matter). Lithium chloride has the drawback that it is not measurable in the field and thus checks cannot be made on the testing procedure (e.g., constant tracer injection, fully mixed flow conditions, attainment of steady-state conditions).

## Volumetric Method

The volumetric method can be undertaken by either collection of effluent and weighing over a known time period or measurement of volume of effluent displaced over a known time period. Application of the first approach is limited because the effluent volumes to be managed as part of the testing procedure are typically too large. For mining operations, application of the second approach is also limited as discharges at final discharge points are not

typically from tanks or vessels (e.g., with known elevation-volume relationships) but from pond and effluent treatment systems. The respective volume-elevation relationships are generally known but are not to the accuracy required for flow measurement system calibration.

A detailed description of this method is provided in ISO 8316 – Method by collection of the liquid in a volumetric tank (ISO, 1987).

## Hydraulic Model Testing

For some flow regimes or site conditions, it may not be possible to calibrate the flow measurement system using either the dilution or volumetric technique. This could occur due to the following:

- there is difficulty in reproducing the full operating flow range in the system;
- testing would potentially result in a release of an unacceptable contaminant loading to the environment (e.g., test flow rates during some times of the year may be limited by downstream receiving water restrictions on flow releases); or
- the site is an emergency overflow that would only convey flow in an emergency situation (e.g., testing cannot be undertaken with effluent due to water quality limitations).

For these conditions, it may be possible to construct a hydraulic model of the flow measurement system and test the model under laboratory conditions. The hydraulic model is designed based on the principle of hydraulic similitude. With this approach, the model represents a geometric reduction of the actual flow measurement system (prototype), which is accomplished by maintaining a fixed ratio (e.g., scale factor) between the model and prototype of all homogeneous lengths, velocities and forces involved in motion. A detailed description of hydraulic similitude and hydraulic model studies may be found in Hwang (1981) and Streeter and Wylie (1985).

In most cases for flow measurement systems, inertial force and gravity force can be considered to be the only dominating forces in fluid motion. In this case, the relationship between flow in the model and prototype can be described by:

$$Q_p = L_r^{2.5} Q_m$$

where: $Q_p$ = prototype flow;
$Q_m$ = model flow; and
$L_r$ = scale factor.

The scale factor should be chosen to provide model flows as close as practical to prototype flows and be consistent with pumping capacity available at the testing facility.

The hydraulic models should be constructed based on field-measured dimensions. Dimensions as shown on design drawings should be confirmed prior to construction of the model. Common construction materials for a hydraulic model are wood and steel.

In laboratory testing facilities, flow rate through the model is usually determined by application of the volumetric method (see above).

## References

Hwang, N.C. 1981. Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems. Prentice-Hall Series in Environmental Sciences. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall Inc. 367 p.

ISO. 1987. ISO 8316 – Method by collection of the liquid in a volumetric tank. International Organization for Standardization, Switzerland.

ISO. 1994. ISO 9555 – Measurement of liquid flow in open channels – Tracer dilution methods for the measurement of steady flow. International Organization for Standardization, Switzerland.

Streeter, V.L., and E.B. Wylie. 1985. Fluid Mechanics. Eighth Edition. Toronto: McGraw-Hill Book Company. 586 p.

Environnement Canada Environment Canada

# DOCUMENT D'ORIENTATION POUR LES MESURES DE DÉBIT DES EFFLUENTS DE MINES DE MÉTAUX

## RAPPORT FINAL

**SPE 2/MM/4 – Avril 2001**
Division des minéraux et des métaux
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada

Canada

SÉRIE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

**Exemple de numérotation :**

| SPE | 3 | / | HA | / | 1 |
|---|---|---|---|---|---|

**Numéro de rapport portant l'identification SPE 3/HA**
**Code de sujet**
**Catégorie de rapport**
**Série de la Protection de l'environnement**

**Catégories**

| | |
|---|---|
| 1 | Règlement/Lignes directrices/ Codes de pratiques |
| 2 | Évaluation des problèmes et options de contrôle |
| 3 | Recherche et développement technologique |
| 4 | Revues de la documentation |
| 5 | Inventaires, examens et enquêtes |
| 6 | Évaluations des impacts sociaux, économiques et environnementaux |
| 7 | Surveillance |
| 8 | Propositions, analyses et énoncés de principes généraux |
| 9 | Guides |

**Sujets**

| | |
|---|---|
| **AG** | Agriculture |
| **AN** | Technologie anaérobie |
| **AP** | Pollution atmosphérique |
| **AT** | Toxicité aquatique |
| **CC** | Produits chimiques commerciaux |
| **CE** | Consommateurs et environnement |
| **CI** | Industries chimiques |
| **FA** | Activités fédérales |
| **FP** | Traitement des aliments |
| **HA** | Déchets dangereux |
| **IC** | Produits chimiques inorganiques |
| **MA** | Pollution marine |
| **MM** | Exploitation minière et traitement des minéraux |
| **NR** | Régions nordiques et rurales |
| **PF** | Papier et fibres |
| **PG** | Production d'électricité |
| **PN** | Pétrole et gaz naturel |
| **RA** | Réfrigiration et conditionnement d'air |
| **RM** | Méthodes de référence |
| **SF** | Traitement des surfaces |
| **SP** | Déversements de pétrole et de produits chimiques |
| **SRM** | Méthodes de référence normalisées |
| **TS** | Transports |
| **TX** | Textiles |
| **UP** | Pollution urbaine |
| **WP** | Protection et préservation du bois |

Des sujets et des codes supplémentaires sont ajoutés au besoin. On peut obtenir une liste des publications de la SPE en s'adressant aux Publications de la Protection de l'environnement, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0H3.

© Ministère des Travaux publics et des Services gouvernementaux Canada, 2001

Environnement Canada Environment Canada

# DOCUMENT D'ORIENTATION POUR LES MESURES DE DÉBIT DES EFFLUENTS DE MINES DE MÉTAUX

## RAPPORT FINAL

**SPE 2/MM/4 – Avril 2001**
Division des minéraux et des métaux
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada

Canada

**Données de catalogage avant publication (Canada)**

Vedette principale au titre :

Document d'orientation pour les mesures de débit des effluents de mines de métaux

(Rapport ; SPE 2/MM/4)

Publ. aussi en anglais sous le titre : Guidance document for flow measurement of metal mining effluents.

Comprend des références bibliographiques.

ISBN 0-660-96390-6

N° de cat. En49-24/1-38E

1. Eaux usées -- Qualité -- Mesure.
2. Débit mètres.
3. Mines -- Industrie -- Déchets -- Élimination.
4. Mines -- Industrie -- Aspect de l'environnement.

I. Canada. Environnement Canada.

II. Coll.: Rapport (Canada. Environnement Canada) ; SPE 2/MM/4.

TD367.G84 2001 628.1'61 C00-980357-2

## NOTE AUX LECTEURS

Prière d'envoyer vos commentaires et questions concernant ce document à :

Division des minéraux et des métaux
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

Pour obtenir d'autres exemplaires de ce document, s'adresser à :

Publications de la protection de l'environnement
Direction générale pour l'avancement des technologies environnementales
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

## AVERTISSEMENT

Le présent rapport a été examiné par des fonctionnaires de la Division des minéraux et des métaux d'Environnement Canada et approuvé en vue de sa publication. Cette approbation ne signifie pas nécessairement que le contenu reflète les vues et les politiques d'Environnement Canada.
La mention d'une marque de commerce ou d'un produit commercial dans ce document ne signifie pas qu'ils sont approuvés par Environnement Canada.

**Ce document ne prétend pas couvrir tous les aspects de sécurité associés au sujet traité. Il incombe à toute personne de consulter les autorités compétentes et d'établir, avant de commencer, des pratiques d'hygiène et de sécurité appropriées, notamment celles exigées par la réglementation pertinente.**

# RÉSUMÉ

Ce document traite du contrôle du débit, du matériel et des procédés servant dans le cas des effluents de mines de métaux. Il met l'accent sur les méthodes axées sur le rendement et la façon de les appliquer dans l'industrie minière. Les sujets abordés comprennent la sélection, la conception et l'installation de systèmes de mesure, l'élaboration de méthodes d'exploitation et d'entretien, et la mise au point de protocoles de compte rendu. Il présente également des lignes directrices concernant l'étalonnage et le contrôle de la précision des systèmes et le choix du matériel de mesure.

L'information fournie vise à appuyer la mise en œuvre des dispositions du *Règlement sur les effluents des mines de métaux* (REMM) proposé par Environnement Canada en vertu de la *Loi sur les pêches*.

Pour de plus amples informations au sujet du *Règlement sur les effluents des mines de métaux* proposé et d'autres documents d'orientations pertinents, veuillez consulter la Voie verte d'Environnement Canada au www.ec.gc.ca/nopp/metals/francais/index.cfm .

## REMERCIEMENTS

Ce document a été rédigé par :

| | |
|---|---|
| Eric Luxon | Conor Pacific/WTI |
| Donald Weatherbe | Donald G. Weatherbe Associates Inc. |
| Robert Whyte | Aquafor Beech Limited |

en collaboration avec :

| | |
|---|---|
| Patrick Finlay | Environnement Canada |
| Bill Blakeman | Environnement Canada |
| Chris Doiron | Environnement Canada |

Les personnes suivantes ont contribué à la préparation du présent document par leurs commentaires et en ont fait la révision :

| | |
|---|---|
| Paul Rochon | Environnement Canada |
| Sam El-Gohary | Gouvernement de Terre-Neuve et du Labrador |
| Robert Phillips | Cameco Corporation |
| Jerry Fitchko | Beak International Incorporated |
| William Dainty | Aquafor Beech Limited |
| William Snodgrass | Snodgrass Consulting Services |

# TABLE DES MATIÈRES

**Sommaire** ..... **ix**

**1.0 Introduction** ..... **1**

**2.0 Caractéristiques des effluents miniers** ..... **2**
2.1 Effluents miniers ..... 2
2.2 Point(s) de rejet final ..... 2

**3.0 Mesure du débit** ..... **4**
3.1 Unités de mesure du débit ..... 4
3.2 Mesure du débit et rapports ..... 4
3.3 Précision de mesure du débit ..... 4
3.4 Fréquence d'étalonnage et de vérification des systèmes de mesure du débit ..... 4

**4.0 Critères de sélection du site et d'installation** ..... **5**
4.1 Généralités ..... 5
4.2 Choix du site ..... 5
4.3 Choix et installation du matériel ..... 5
4.4 Mesure du débit en zone éloignée ..... 6
4.5 Décharges en lac/milieu marin ..... 6
4.6 Décharges à source non ponctuelle ..... 7

**5.0 Installation, étalonnage et entretien des appareils de mesure** ..... **8**
5.1 Considérations préliminaires ..... 8
5.2 Installation et étalonnage *in situ* des appareils de mesure ..... 8
5.3 Entretien et inspection ..... 8

**6.0 Documentation des mesures et données à recueillir** ..... **10**
6.1 Élaboration des procédures normalisées d'exploitation ..... 10
6.2 Enregistrement des données ..... 10
6.3 Format des données et rapports ..... 10

**7.0 Documents de référence concernant les mesures de débit** ..... **12**

**Annexe 1 Mesure du débit à l'air libre** ..... **14**

**Annexe 2 Mesure du débit en conduite fermée** ..... **24**

**Annexe 3 Méthodes d'étalonnage des systèmes de mesure du débit** ..... **27**

## LISTE DES TABLEAUX

**Tableau 1** **Normes de l'ASTM et de l'ISO applicables aux mesures de débit des effluents de mines de métaux** ..... **13**

## LISTE DES FIGURES

**Figure 1** **Exploitation minière type et flux d'effluents** ..... **3**

**Figure 2** **Types de déversoirs courants** ..... **15**

**Figure 3** **Canal Parshall** ..... **17**

**Figure 4** **Canal Palmer-Bowlus** ..... **19**

**Figure 5** **Jaugeurs à surface libre et jaugeur de type H** ..... **21**

# SOMMAIRE

Ce document vise à guider les personnes afin d'assurer avec efficacité le rendement des mesures de débit d'effluents de mines de métaux. Cette approche axée sur le rendement laisse à l'industrie entière latitude quant au choix des techniques et du matériel de mesure, la seule obligation étant de pouvoir assurer le niveau de précision des mesures exigé et d'en faire la preuve au moyen de données d'étalonnage et de contrôle appropriées. Les renseignements fournis dans ce document peuvent aider les exploitants de mines dans le choix des techniques de mesure, la conception et la mise en œuvre de systèmes de mesure des débits, l'élaboration des méthodes d'exploitation et d'entretien du matériel et la mise au point des protocoles de compte rendu. Ce document propose des lignes directrices concernant le choix des points et du matériel de mesure, la détermination de la précision des mesures, l'étalonnage des appareils et l'élaboration de procédures normalisées d'exploitation.

Il précise les éléments que devrait comporter un rapport d'homologation d'un système de mesure, présente des lignes directrices pour la détermination de la fréquence d'étalonnage des appareils de mesure et indique les activités qui devraient faire partie des procédures normalisées d'exploitation documentées. De plus, il aborde les points à considérer pour l'implantation, le choix, l'installation et l'étalonnage des systèmes de mesure des débits d'effluents aussi bien à l'air libre qu'en conduite. Il recommande trois méthodes d'étalonnage des appareils et de vérification de la précision des mesures de débits : la méthode de dilution (traceur), la méthode volumétrique et la modélisation hydraulique.

Le présent document dresse des lignes directrices concernant l'élaboration de programmes d'entretien et d'inspection, la mise au point de procédures normalisées d'exploitation, la consignation des données et l'établissement des comptes rendus de mesures. Une description des méthodes courantes de mesure du débit, à l'air libre et en conduite, est présentée en annexe.

# 1.0 INTRODUCTION

Ce document vise à guider les personnes afin d'assurer avec efficacité le rendement des mesures de débit d'effluents provenant d'exploitations minières et à appuyer les dispositions du *Règlement sur les effluents des mines de métaux* (REMM) qui sera adopté par Environnement Canada en vertu de la *Loi sur les pêches*.

L'approche axée sur le rendement permet aux organisations d'adapter des systèmes de mesure des débits aux particularités de chaque exploitation, la seule obligation étant de pouvoir assurer le niveau de précision des mesures exigé et d'en faire la preuve au moyen de données d'étalonnage appropriées. Les méthodes de mesure choisies devraient être conformes aux procédures normalisées d'exploitation et être utilisées de façon uniforme. Elles devraient pouvoir être examinées par un inspecteur sur demande en vertu de la *Loi sur les pêches* ou de toute autre loi fédérale ou provinciale applicable.

L'approche axée sur le rendement précise les normes de mesure à appliquer et les objectifs de qualité des données à atteindre. La planification, l'installation, l'exploitation et l'entretien des systèmes de mesure du débit devraient respecter les critères définis de précision, de conception, de fiabilité, d'étalonnage, de documentation et de compte rendu. Il incombe aux exploitants des mines de choisir des méthodes et des procédures à appliquer pour atteindre les normes et les objectifs de qualité mis de l'avant dans ce document d'orientation.

L'idée même de l'approche axée sur le rendement consiste à offrir aux exploitants une souplesse raisonnable dans le choix des méthodes et procédures de mesure à appliquer. Elle permet notamment d'exploiter les progrès techniques réalisés dans le domaine de la débitmétrie et d'adapter les techniques aux particularités d'une exploitation minière donnée, sans compter qu'elle facilite l'amélioration et le perfectionnement continus des procédures normalisées d'exploitation.

Ce document est destiné aux exploitants de mines et à leur personnel d'exploitation et de protection de l'environnement, au personnel d'inspection et d'application de la loi d'Environnement Canada, aux membres d'organismes provinciaux de protection de l'environnement ainsi qu'au personnel des commissions territoriales des eaux.

# 2.0 CARACTÉRISTIQUES DES EFFLUENTS MINIERS

## 2.1 Effluents miniers

Les effluents miniers déversés dans l'environnement peuvent provenir de diverses sources. Les principaux effluents sont décrits dans cette section et illustrés à la figure 1.

Les effluents issus d'installations de traitement sont des effluents qui entrent en contact avec les matériaux traités ou qui découlent de la production ou de l'utilisation d'une matière première, d'un produit intermédiaire, d'un produit fini, d'un sous-produit, d'un déchet ou d'eaux usées. Il peut également s'agir d'eau de purge, d'effluents issus des opérations de nettoyage ou d'entretien et d'effluents en contact avec des eaux de refroidissement ou des eaux de ruissellement.

Les effluents issus d'installations de traitement d'une exploitation minière peuvent se déverser dans l'environnement sous l'une ou plusieurs formes suivantes :

- effluent décanté d'un bassin-réservoir artificiel appelé « bassin de décantation et de stockage des résidus » ou « installation de gestion des résidus »;
- effluent décanté d'un étang de polissage ou de clarification généralement situé en aval d'un bassin de décantation et de stockage des résidus;
- effluent issu d'une installation de traitement.

Les eaux de mines comprennent les eaux pompées ou rejetées d'une mine souterraine ou d'une mine à ciel ouvert. Ces eaux sont généralement stockées dans des bassins de décantation puis déversées ou combinées avec des effluents issus d'installations de traitement. Elles peuvent également être rejetées directement dans l'environnement à partir de mines souterraines ou à ciel ouvert.

Les eaux de refroidissement servent comme leur nom l'indique à évacuer la chaleur produite par le matériel d'exploitation, les opérations de traitement et les matières elles-mêmes. En général, ces eaux sont combinées à d'autres flux d'effluents avant leur rejet dans l'environnement, par exemple aux boues de résidus déversées dans les bassins de décantation et de stockage des résidus (c.-à-d. effluents issus d'installations de traitement) ou aux eaux de mines.

Les eaux d'infiltration comprennent les eaux rejetées dans l'environnement par suintement à partir d'aires de gestion des déchets (ex. bassins de décantation et de stockage des résidus ou dépôts de stériles) ou de bassins de stockage d'eaux usées (ex. bassins de décantation et de stockage des résidus, bassins de clarification, bassins de retenue d'eaux de mines). Ces eaux d'infiltration peuvent être interceptées par des fossés de collecte périphériques ou peuvent s'écouler directement dans l'environnement.

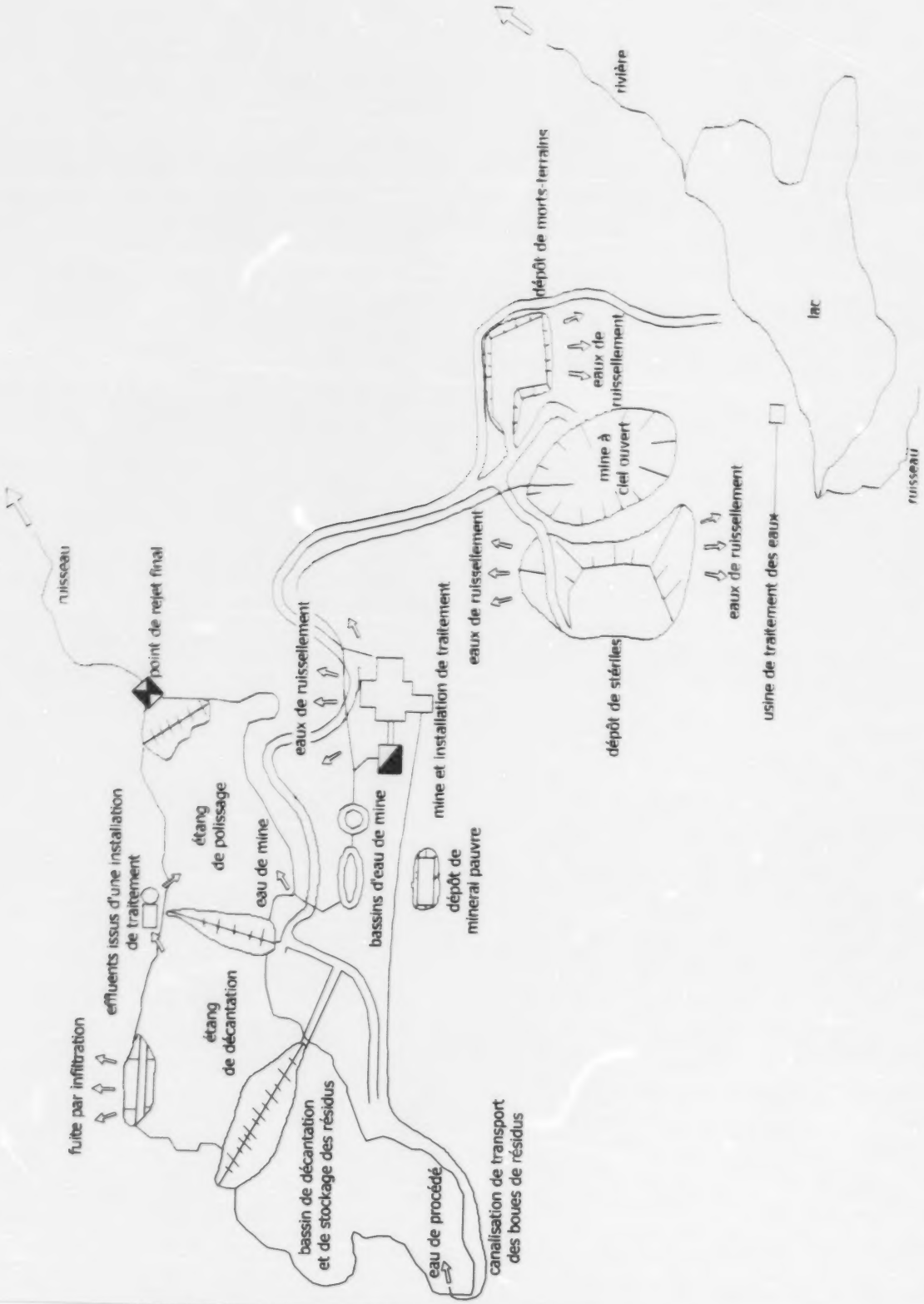
Les eaux de ruissellement d'une exploitation minière comprennent les eaux de drainage superficiel (eaux de pluie, eaux de fonte des neiges et eaux de drainage naturel). Les eaux de ruissellement de sites miniers comprennent, sans toutefois s'y limiter, les eaux de drainage provenant des mines et des installations de traitement du minerai, des bassins de retenue des eaux de drainage, des zones de manutention, des sites de stockage de matières premières et des aires de stockage des déchets, dont les dépôts de stériles et de morts-terrains. En général, le ruissellement est diffus, car il comporte de nombreux points de rejet dans l'environnement.

Dans la catégorie « autres effluents », on retrouve, entre autres, les décharges sanitaires des bassins d'eaux usées, les déversements d'urgence des bassins de retenues des eaux usées et les eaux de lavage à contre-courant d'installations de traitement d'eau potable.

## 2.2 Point(s) de rejet final

Aux fins d'élaboration de ce document, un « point de rejet final » désigne le point de rejet indiqué par le propriétaire ou l'exploitant d'une mine conformément aux exigences du REMM proposé. Comme il est indiqué dans ce règlement, le propriétaire ou exploitant d'une mine doit mesurer le débit à chaque point de rejet final dans son plan d'exploitation.

**Figure 1 Exploitation minière type et flux d'effluents**



# 3.0 MESURE DU DÉBIT

Aux fins d'élaboration de ce document, on entend par « débit » le volume d'effluent rejeté sur une période de 24 heures au cours de laquelle des échantillons sont prélevés à chaque point de rejet final. Par mesure du débit, on entend le procédé systématique de quantification du volume de l'effluent rejeté. Les volumes d'effluent peuvent être déterminés soit par intégration des mesures de débit en continu ou soit par mesure indirecte du volume.

## 3.1 Unités de mesure du débit

Les mesures du débit par période de 24 heures devraient être exprimées en mètres cubes ($m^3$) pour chaque flux d'effluent mesuré au point de rejet final.

## 3.2 Mesure du débit et rapports

Le système de mesure du débit devrait pouvoir indiquer avec précision le volume d'effluent rejeté en 24 heures à chaque point de rejet final. Par conséquent, la fréquence de mesure du débit devrait être établie de manière à déterminer avec précision les variations du débit sur une période de 24 heures.

## 3.3 Précision de mesure du débit

Aux fins d'élaboration de ce document, on présume que tous les systèmes, méthodes, dispositifs et calculs mis en oeuvre permettront, conformément aux exigences du REMM proposé, de déterminer à plus ou moins 15 % près les débits réels d'effluent et d'en rendre compte.

## 3.4 Fréquence d'étalonnage et de vérification des systèmes de mesure du débit

La précision de tous les systèmes, méthodes et dispositifs de mesure du débit devrait être certifiée par un ingénieur agréé comme étant conforme aux exigences de ce document d'orientation. La certification devrait prendre la forme d'un rapport où figurent ce qui suit :

- les renseignements généraux sur la procédure d'étalonnage appliquée sur place : date, heure, société et personnel, conditions météorologiques et matériel utilisé sur place;
- une description des dispositifs primaire et secondaire de mesure, de l'état de l'emplacement physique, des caractéristiques du débit et toute autre caractéristique pertinente du site;
- une description de la méthode d'étalonnage utilisée conformément aux normes applicables de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) ou de l'American Society for Testing and Materials (ASTM);
- les résultats, y compris une analyse des erreurs;
- une attestation établissant que le système de mesure du débit atteint ou dépasse les exigences de précision;
- la signature et le sceau de l'ingénieur agréé.

La précision des mesures de débit devrait être vérifiée à intervalles réguliers. Voici les directives relatives à la fréquence d'étalonnage préconisée pour les systèmes de mesure du débit :

- dans les 15 jours de la mise en service d'un nouveau système de mesure du débit;
- à intervalles réguliers n'excédant pas un an, à moins de recommandation contraire d'un ingénieur agréé aux termes de l'étalonnage en cours du système visé;
- dans les 15 jours de la remise en service d'un système existant ayant fait l'objet d'importantes modifications (nouvelle méthode de mesure ou dispositif primaire de taille différente).

Pour assurer une fiabilité et une précision constantes de tous les systèmes de mesure du débit, il conviendrait de mettre en place un programme d'entretien préventif et d'assurance de la qualité faisant partie intégrante des procédures normalisées d'exploitation. Ce programme devrait comprendre sans toutefois s'y limiter :

- le nettoyage et l'inspection courants des installations;
- le contrôle régulier de l'étalonnage du dispositif de mesure secondaire (p. ex. réglage à zéro);
- le contrôle régulier des données enregistrées afin de détecter les erreurs ou de diagnostiquer les problèmes;
- la mise en place d'un système d'archivage des enregistrements et rapports;
- la tenue d'un registre des activités d'inspection et d'entretien.

La question des procédures normalisées d'exploitation est abordée à la section 6.0.

# 4.0 CRITÈRES DE SÉLECTION DU SITE ET D'INSTALLATION

## 4.1 Généralités

Les effluents d'une exploitation minière peuvent atteindre les points de rejet final de diverses façons, soit par les cours d'eau ou les fossés naturels, les tuyaux ou les ponceaux et les canalisations de pompage.

Pour choisir la méthode appropriée de mesure du débit, il importe de vérifier les caractéristiques matérielles du chenal ou de la conduite et de s'assurer de la présence des conditions hydrauliques voulues pour une mesure précise du débit. Dans certains cas, il pourra être nécessaire de modifier les conditions en amont, en aval ou au point de mesure même.

Des structures et dispositifs hydrauliques artificiels ont été élaborés pour la mesure des débits aussi bien à l'air libre qu'en conduite. On les appelle communément les « appareils primaires ». Il s'agit entre autres de déversoirs et de canaux jaugeurs pour les écoulements à l'air libre et de plaques à orifice et tubes venturi pour les écoulements en conduite. L'écoulement à travers l'appareil primaire produit un signal mesurable, notamment la variation du niveau d'eau (hauteur) ou une différence de pression découlant des principes hydrauliques. Un « appareil secondaire » mesure l'intensité de ce signal au moyen d'un capteur approprié et relaie l'information à l'instrumentation servant à la convertir en débit. Parmi les appareils secondaires, on compte les capteurs de niveau, les capteurs de pression immergés et les transmetteurs de pression différentielle. La plupart des appareils secondaires peuvent être étalonnés en fonction d'étendues de mesure précises, au moyen de microprocesseurs intégrés. Certains peuvent également fournir une indication visuelle de l'écoulement dans les unités choisies et d'autres peuvent transmettre un signal électronique proportionnel au débit à être mis en mémoire (ou enregistré sur support électronique), à être enregistré sur support papier (enregistreur graphique) ou à être relayé à un centre de traitement.

Un système complet de mesure du débit comprend des appareils de mesure primaires et secondaires.

## 4.2 Choix du site

Dans la planification d'un système de mesure du débit, un procédé de sélection d'un site devrait être envisagé afin de déterminer l'emplacement le plus accessible et approprié en tenant compte du point de rejet final. Voici les points à envisager :

- nature de l'écoulement à mesurer (permanent ou saisonnier);
- besoins de réglage du niveau d'eau en amont (niveaux d'opération minimaux et maximaux);
- possibilités d'accès en véhicule et à pied par mauvais temps;
- accessibilité du matériel au personnel d'exploitation et d'entretien (minimiser les installations en espaces confinés imposant des procédures d'entrée et précautions particulières);
- alimentation électrique des appareils de mesure (alimentation par panneaux solaires peut être requis en zone éloignée);
- protection du matériel et des instruments contre les intempéries, la faune et le vandalisme;
- conditions du sol et incidences sur la stabilité de l'installation et les coûts d'aménagement (proximité du socle rocheux, profondeur de gel, pergélisol, etc.);
- proximité du plan d'eau récepteur et mode de cheminement de l'effluent entre le système de mesure du débit et le milieu récepteur.

## 4.3 Choix et installation du matériel

Une fois le site choisi, il convient d'étudier les techniques et matériel de mesure pour constituer le système de mesure qui donnera les meilleurs résultats en termes de précision à l'endroit choisi. Le choix du matériel de mesure devrait tenir compte des éléments suivants :

- la plage des débits à mesurer;
- la précision requise quant à la plage des débits à mesurer;
- les changements possibles du débit en tenant compte des expansions/modifications ultérieures du site;
- les conditions environnementales qui peuvent influer sur le fonctionnement du matériel;

- les besoins d'alimentation en énergie;
- les canaux d'amenée et d'évacuation nécessaires pour le matériel;
- la qualité de l'effluent (eau chargée de solides en suspension ou de produits chimiques peuvent être nuisibles au bon fonctionnement du matériel);
- l'accessibilité du matériel par le personnel d'exploitation, d'entretien et d'inspection;
- l'espace disponible.

Les annexes 1 et 2 décrivent les principaux appareils primaires et secondaires offerts pour la mesure des débits à l'air libre et en conduite.

L'étude approfondie du système de mesure de débit devrait être confiée à des personnes qualifiées possédant de l'expérience en conception, étalonnage, inspection et entretien de matériel de mesure des débits.

Outre les instruments de contrôle de la qualité de l'eau et les dispositifs d'échantillonnage, tout ajout envisagé pour protéger le système de mesure au complet ou en partie devrait être suffisamment grand pour accueillir tous les équipements de protection du personnel nécessaires ou exigés.

Voici les points à envisager en matière de construction ou d'aménagement :

- possibilité de devoir détourner temporairement le chenal ou courant à contrôler pour permettre l'installation ou la construction de la structure artificielle de mesure du débit hydraulique;
- permis à obtenir pour l'aménagement de structures de mesure du débit en continu et la modification du tracé des cours d'eau (systèmes en parallèle à privilégier);
- embauche à contrat de personnel qualifié et expérimenté pour l'installation et la mise en service adéquates du système envisagé (souvent, les fournisseurs ont des techniciens qui peuvent aider à l'installation et à la mise en service du matériel fourni).

Le choix du site, les caractéristiques techniques du système de mesure et son étalonnage devraient faire l'objet d'un rapport exhaustif à être mis à jour au fur et à mesure des modifications apportées. Le personnel d'exploitation de la mine, les inspecteurs d'Environnement Canada et les agents provinciaux d'application des normes devraient pouvoir consulter ce document en tout temps.

## 4.4 Mesure du débit en zone éloignée

Les mesures du débit en zone éloignée sont souvent difficiles du fait de l'inaccessibilité des lieux et des contraintes d'alimentation en énergie. L'étude d'un système de mesure du débit en région éloignée devrait tenir compte des éléments suivants :

- la disponibilité d'une source d'alimentation en énergie fiable;
- la mise en place d'un système fiable; d'enregistrement et de transmission des données de mesure;
- le choix d'appareils primaires et secondaires aptes à fonctionner à basses températures lorsque le manque d'énergie empêche de faire fonctionner un système de chauffage;
- la réduction au minimum des besoins d'entretien;
- la mise en place d'un système d'avertissement ou d'alarme en cas de mauvais fonctionnement ou panne du système de mesure.

Parmi les options d'alimentation en énergie aux endroits éloignés non raccordés au réseau de distribution électrique figurent les panneaux solaires disponibles commercialement pour l'alimentation d'instrumentations standard. Les inspections courantes des systèmes éloignés de mesure du débit devraient englober la source d'alimentation en énergie de ces systèmes.

Lorsque l'accès aux lieux est difficile, il est important de doter le système de mesure du débit d'un appareil d'enregistrement des données et, dans la mesure du possible, d'un circuit de communication avec le site minier pour la transmission des données et la surveillance du système. Le circuit de communication peut être relié par une ligne téléphonique ou un câble de communications. On peut aussi envisager la téléphonie cellulaire ou même par satellite. En cas d'impossibilité d'établir une liaison directe entre le système de mesure du débit et le site minier, il faut prévoir l'extraction courante sur place des données stockées dans l'appareil d'enregistrement.

## 4.5 Décharges en lac/milieu marin

Le rejet direct dans un lac ou un milieu marin peut faire l'objet de l'une ou l'autre des méthodes de mesure du débit abordées dans cette section et exposées aux annexes 1 et 2. Les mesures doivent se faire obligatoirement avant le point de rejet dans le milieu récepteur marin.

## 4.6 Décharges à source non ponctuelle

Les décharges diffuses provenant d'un site minier ne se prêtent généralement pas à la mesure de leur débit. Il s'agit généralement de rejets par infiltration d'eaux de ruissellement ou d'eaux provenant de bassins de stockage d'eaux usées ou de dépôts de stériles. Si l'on doit surveiller ces débits, il faudrait d'abord recueillir les décharges à source non ponctuelle par l'un des moyens suivants :

- un réseau de fossés de captage visant à recueillir et à amener les eaux des effluents vers le point de rejet final pour mesurer le débit;
- un bassin de stockage d'où l'effluent serait pompé vers le point de rejet final selon les besoins pour mesurer le débit.

# 5.0 INSTALLATION, ÉTALONNAGE ET ENTRETIEN DES APPAREILS DE MESURE

Cette section résume les procédures générales d'installation, d'étalonnage et d'entretien des appareils de mesure du débit. Les annexes 1 et 2 donnent une description des méthodes et appareils de mesure du débit.

## 5.1 Considérations préliminaires

Tous les appareils de mesure du débit devraient être testés en usine par un personnel qualifié avant d'être expédiés et devraient être accompagnés des certificats d'homologation et des manuels d'exploitation et d'entretien les concernant. Toute la documentation accompagnant les appareils devrait être conservée et utilisée dans la mise en œuvre d'un programme d'entretien préventif et d'assurance de la qualité.

Les appareils construits sur mesure (p. ex. seuils de déversoir) sont admis si toutefois le système de mesure du débit peut être étalonné avec succès.

## 5.2 Installation et étalonnage *in situ* des appareils de mesure

Au cours de la phase d'installation et de mise en service, on devrait respecter toutes les prescriptions du fabricant quant à l'alimentation en énergie, au raccordement à d'autres utilités à l'installation, à la connexion, à la programmation, à l'exploitation et à l'entretien des appareils de mesure. L'installation et l'étalonnage devraient être confiés à un personnel qualifié qui devrait en documenter avec minutie et précision toutes les étapes.

Tous les systèmes de mesure du débit devraient être étalonnés *in situ* à l'étape de la mise en service. L'étalonnage *in situ* vise à établir et à confirmer la conformité aux exigences de précision des mesures de débit. La méthode d'étalonnage utilisée pour établir et confirmer l'exactitude de mesure du débit devrait être fiable à plus ou moins 5 % près.

Les méthodes ci-dessous offrent un niveau de précision d'étalonnage acceptable des systèmes de mesure du débit :

- méthode de dilution (traceur) - injection d'une solution à débit constant et concentration connus, et mesure de la concentration homogène dans le flux d'effluent afin de déterminer le débit (les solutions injectées peuvent être du Rhodamine WT ou du chlorure de lithium);
- méthode volumétrique - collecte d'effluent dans une capacité et pesage pendant un temps donné ou mesure du volume d'effluent déplacé pendant un temps donné;
- modélisation hydraulique - construction d'un modèle réduit du système de mesure du débit et étalonnage/vérification en laboratoire.

Les méthodes ci-dessus conviennent pour l'étalonnage aussi bien des systèmes de mesure à l'air libre que des systèmes de mesure en conduite.

La méthode de l'exploration du champ des vitesses qui consiste à mesurer la vitesse du courant à différentes profondeurs pour déterminer le débit peut servir de méthode complémentaire de vérification de l'étalonnage mais elle ne devrait pas être utilisée comme seul moyen d'étalonnage des systèmes de mesure du débit. La raison étant la difficulté à caractériser les paramètres hydrauliques dans des conditions non idéales, notamment lorsque les caractéristiques du chenal sont irrégulières, l'écoulement est turbulent (remous ou courants transversaux) ou la vitesse d'écoulement est faible.

Dans le cas des écoulements en charge sous conduite, on peut faire appel à des méthodes ultrasonores et électromagnétiques pour contrôler les résultats de l'étalonnage, mais il n'est pas indiqué de s'en servir comme seul moyen d'étalonnage des systèmes de mesure. La raison étant la possibilité d'avoir des conditions hydrauliques non idéales comme un remplissage imparfait des fluides en conduite et la présence de bulles d'air.

L'annexe 3 présente les méthodes d'étalonnage.

## 5.3 Entretien et inspection

Il faudrait identifier de façon non équivoque tous les systèmes de mesure de débit et noter tous les détails des activités d'inspection et d'entretien selon les procédures normalisées d'exploitation (voir section 6.0). Les activités d'inspection et d'entretien visent à prévenir les situations suivantes :

- détérioration graduelle des rendements en raison de facteurs tels que l'encrassement, l'usure et la

dérive du signal;
- pannes subites attribuables aux phénomènes naturels, à la crue des eaux, aux défaillances d'élément et aux erreurs humaines.

L'inspection des appareils primaires vise à déceler ce qui suit sans toutefois s'y limiter :

- signes de sédimentation, accumulation de débris, développement d'algues et accumulation d'écume;
- accumulation de glace susceptible de fausser les mesures;
- signes de fissuration ou de décollement de la structure porteuse;
- signes de tassement différentiel de la structure porteuse;
- signes de corrosion de l'appareil de mesure et d'autres composantes de l'installation;
- éléments défectueux de l'installation.

L'inspection des appareils secondaires de mesure vise ce qui suit sans toutefois s'y limiter :

- vérification du niveau d'eau (hauteur) pour s'assurer de la conformité aux valeurs indiquées;
- présence d'organismes ou matières susceptibles de nuire au bon fonctionnement;
- signes d'endommagement ou d'usure de l'appareil de mesure et d'autres composantes de l'installation;
- signes de corrosion de l'appareil de mesure et d'autres composantes de l'installation;
- éléments défectueux de l'installation.

Une liste de contrôle devrait être dressée pour l'inspection et l'entretien des systèmes de mesure du débit et être utilisée pour documenter ces activités.

# 6.0 DOCUMENTATION DES MESURES ET DONNÉES À RECUEILLIR

## 6.1 Élaboration des procédures normalisées d'exploitation

Il convient d'élaborer une procédure normalisée d'exploitation des systèmes de mesure du débit à chaque point de rejet final. Une procédure normalisée distincte devrait encadrer chacune des opérations suivantes :

- obtention et enregistrement des données de mesure, conversion des mesures en données de débit et description des conditions d'exploitation durant les périodes visées par les rapports de débit;
- inspections et entretiens courants;
- étalonnage courant du système de mesure du débit.

Chaque procédure normalisée d'exploitation devrait inclure les renseignements suivants :

- les paramètres et objectifs de la procédure;
- des schémas du système de mesure du débit et du lieu d'implantation où figurent :
  - tous les accès (libres et limités);
  - toutes les caractéristiques et tous les instruments de mesure;
  - tous les repères utiles;
  - les dimensions des instruments de mesure, conduites et canaux installés;
  - l'emplacement du matériel de sécurité et les sources d'alimentation en énergie électrique;
- une fiche technique ou description du matériel et des instruments de mesure précisant :
  - les caractéristiques de la plaque signalétique;
  - l'étendue de mesure des instruments;
  - les besoins d'alimentation électrique;
  - les tables de conversion ou coefficient de calcul des débits;
- une description détaillée de toutes les étapes à respecter pour :
  - le nettoyage et l'inspection courants;
  - les vérifications courantes de l'étalonnage des appareils de mesure secondaires (ex. réglage à zéro);
  - l'entretien et la réparation;
  - la tenue des registres d'inspection et d'entretien;
  - les vérifications courantes des données enregistrées afin de détecter ou de diagnostiquer des erreurs ou des problèmes;
  - le traitement, les calculs et la déclaration des données de débit;
  - l'étalonnage ou la vérification des systèmes de mesure du débit.
- une liste des outils à utiliser pour le nettoyage et les inspections;
- une liste des instruments et outils nécessaires pour l'étalonnage des systèmes de mesure du débit et le contrôle de la précision des mesures.

## 6.2 Enregistrement des données

Il faudrait tenir un registre distinct pour chacun des points de mesure du débit. Ce registre devrait comprendre sous forme tabulaire toutes les données concernant l'exécution des procédures normalisées d'exploitation et consigner toutes les activités liées à l'inspection, à l'essai, à l'étalonnage et à l'entretien.

Le registre devrait inclure les renseignements suivants :

- nom du site minier et désignation du point de rejet final;
- date, heure et conditions générales des activités d'inspection et d'entretien;
- résultats de l'inspection et observations, y compris les défauts de fonctionnement, les dérèglements ou les erreurs;
- essais, mesures, étalonnage ou contrôles exécutés;
- mesures correctives, modifications d'intervalles ou autres recommandations découlant des observations faites en cours d'inspection ou d'entretien;
- identité des exécutants;
- signature d'autorisation.

## 6.3 Format des données et rapports

Tous les rapports de mesures de débit devraient inclure ce qui suit:

- nom du site minier et désignation du point de rejet qui est visé par le rapport;
- date, heure et durée des mesures rapportées;
- conditions générales au point de rejet final durant la période visée par le rapport (p. ex. conditions météorologiques, travaux d'entretien en cours, modifications du matériel, changements par

rapport aux conditions normales d'exploitation de la mine ou de l'installation de traitement, dont les fermetures temporaires ou les modifications importantes des procédés);
- toutes les données de mesures pertinentes;
- les anomalies de mesure attribuables aux travaux d'entretien ou à des problèmes techniques;
- une signature d'autorisation.

Toutes les données devraient être conservées sur support électronique et papier pendant au moins cinq ans.

# 7.0 DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE CONCERNANT LES MESURES DE DÉBIT

Les méthodes de mesure de débit sont décrites en détail dans les normes internationales, nationales et industrielles ainsi que dans nombre de monographies et de manuels consacrés à l'hydraulique. Voici les principales organisations de normalisation :

- Organisation internationale de normalisation (ISO);
- American Society for Testing and Materials (ASTM);
- American Society of Mechanical Engineers (ASME);
- British Standards Institute (BSI);
- National Institute for Science and Technology (NIST).

Ce document renvoie à certaines des normes publiées par ces organisations. Les normes applicables de l'ASTM et de l'ISO concernant les mesures de débit à l'air libre et en conduite sont énumérées dans le tableau 1.

## Tableau 1 Normes de l'ASTM et de l'ISO applicables aux mesures de débit des effluents de mines de métaux

| Nº ASTM | Nº ISO | Sujet |
|---|---|---|
| **Normes générales** | | |
| D5172-91 | | Guide d'élaboration des modes opératoires normalisés |
| D5612-94 | | Guide pour l'élaboration de programme *In Situ* |
| D5640-95 | 8363-1986 (A) | Principes directeurs généraux pour le choix d'une méthode |
| D4375-96 | | Statistiques de base - Comité D-19 sur l'eau |
| | 5168-1978 (A) | Calcul de l'erreur limite sur les mesures de débit |
| | 7066-1 : 1989 (A) | Évaluation de l'incertitude - Dispositifs d'étalonnage linéaires |
| | 7066-2 : 1988 (A) | Évaluation de l'incertitude - Dispositifs d'étalonnage non linéaires |
| | 4006-1977 (A/F) | Vocabulaire et symboles |
| **Normes sur les mesures du débit à l'air libre** | | |
| | 4373-1979 (A) | Appareils de mesure du niveau de l'eau dans les canaux découverts |
| D5674-95 | 8368-1985 (A) | Mesure du débit |
| D1941-91 | 9826-1992 (A) | Canaux Parshall |
| D5390-93 | 4359-1983 (A) | Canaux jaugeurs à col rectangulaire, à col trapézoïdal et à col en U |
| D5242-92 | 1438/1-1980 (A) | Déversoirs et canaux Venturi - Partie 1: Déversoirs à paroi mince |
| D5614-94 | 3846-1977 (A) | Déversoirs et canaux jaugeurs - à chute libre (Déversoirs rectangulaires à seuil épais) |
| D5242-92 | 4377-1982 (A) | Déversoirs en V ouverts |
| | 4360-1984 (A) | Déversoirs et canaux jaugeurs - Déversoirs à profil triangulaire |
| | 8333-1985 (A) | Déversoirs et canaux jaugeurs - Déversoirs à seuil épais en V |
| | 4371-1984 (A) | Évaluation du débit par détermination de la profondeur en bout des chenaux non rectangulaires à déversement dénoyé |
| | 4374-1982 (A) | Déversoirs horizontaux à seuil épais arrondi |
| D5389-93 | 6418-1985 (A) | Vélocimètres (acoustiques) à ultrasons |
| D3858-95 | 748-1979 (A) | Méthodes d'exploration du champ de vitesses |
| D4409-95 | 2537 : 1988 (A) | Débitmètre à moulinet rotatif |
| D5089-95 | | Débitmètres électromagnétiques en canal découvert |
| D5541-94 | | Relation hauteur-débit |
| **Normes sur les mesures du débit en conduite fermée** | | |
| | 6416-1985 (E) | Mesure du débit à l'aide de la méthode ultrasonique (acoustique) |
| | 3313-1974 (E) | Mesure du débit d'un écoulement pulsatoire dans une conduite au moyen de diaphragmes, tuyères ou tubes de Venturi |
| | 5167-1980 (A) | Diaphragmes, tuyères et tubes de Venturi insérés dans des conduites en charge de section circulaire |
| | 6817-1980 (A) | Débitmètres électromagnétiques |
| | 7145-1982 (A) | Méthode par mesure de la vitesse en un seul point |
| **Méthodes d'estimation** | | |
| D5130-95 | 1070-1973 (A) | Méthode de la pente de la ligne d'eau |
| D5243-92 | | Ponceaux |
| D5388-93 | | Méthode portant sur l'eau de sous-bac |
| **Méthodes d'étalonnage** | | |
| | 8316 : 1987 (A) | Méthode par jaugeage d'un réservoir volumétrique |
| D5613-94 | 9555-1 : 1994 (A) | Méthodes de dilution en régime permanent utilisant des traceurs - Partie 1 : Généralités |
| | 9555-3 : 1992 (A) | Méthodes de dilution en régime permanent utilisant des traceurs - Partie 3 : Traceurs chimiques |
| | 9555-4 : 1992 (A) | Méthodes de dilution en régime permanent utilisant des traceurs - Partie 4 : Traceurs fluorescents |

# ANNEXE 1 MESURE DU DÉBIT À L'AIR LIBRE

## Introduction

Cette annexe traite des mesures du débit à l'air libre, présente des lignes directrices générales concernant le choix du site et décrit les techniques de mesure les plus courantes. Une part importante de l'information fournie dans cette annexe provient du document intitulé *ISCO Open Channel Flow Measurement Handbook* (Grant et Dawson, 1995). Le cas échéant, les auteurs ont puisé dans leur propre expérience en conception, installation et étalonnage de systèmes de mesure du débit.

## Choix du site

Le choix des points de mesure du débit à l'air libre devrait tenir compte des critères généraux de conception suivants :

- les canaux ou chenaux à bords ou fond irréguliers, en particulier les canaux ou chenaux naturels ou non aménagés, devraient être évités. Toute surface irrégulière (pente, fond, obstacles, tels que roches, végétation, etc.) peut contribuer à générer un profil d'écoulement irrégulier qui aura un effet néfaste sur la précision de la mesure;
- le point de mesure du débit devrait être à l'abri des effets de l'érosion (des surfaces du canal) ou de la sédimentation. Une modification de la géométrie du canal peut modifier les conditions de fonctionnement de l'appareil de mesure primaire, le changement de relation entre le niveau d'eau et le débit, et affecter la précision des mesures;
- le canal devrait être rectiligne et de section uniforme sur une distance, en amont du point de mesure, d'au moins 10 fois la hauteur maximale attendue de l'effluent. Certains appareils de mesure peuvent exiger une rectilinéarité amont d'au moins 20 fois la valeur susmentionnée. Avec les appareils de type déversoir et certains types de canaux (p. ex. canaux Parshall), le fond devrait présenter une pente très faible, voir nulle;
- l'écoulement à l'approche du point de mesure devrait être bien réparti sur toute la section du canal et relativement exempt de turbulence, de vagues et de tourbillons;
- la partie du canal située en aval du point de mesure devrait permettre une évacuation libre sur l'écart des débits à mesurer, c'est-à-dire sans ressac ou submersion du point de mesure. Certains appareils primaires échappent à cette règle, les canaux Parshall par exemple, qui tiennent compte de cet effet grâce à la mesure de la hauteur, ou du niveau d'eau, en un second point.

## Appareils de mesure primaires

Parmi les appareils de mesure primaires utilisés pour les mesures du débit à l'air libre, un grand nombre sont des structures hydrauliques appartenant à la famille des déversoirs et des canaux. Sont décrits ci-après quelques-uns des déversoirs et canaux les plus couramment utilisés dans les sites miniers.

### *Déversoirs*

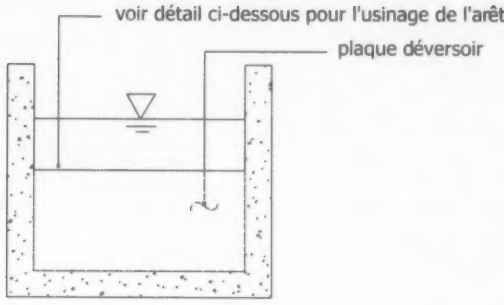
Description

Les déversoirs sont des structures hydrauliques formant un obstacle, par exemple, un barrage ou une cloison placés en travers un canal à surface libre et comportant une ouverture ou une entaille de forme particulière. La présence d'un déversoir a pour effet d'augmenter le niveau de l'eau, ou hauteur motrice, mesuré en amont. La relation du niveau eau-débit est connue pour de nombreux déversoirs de forme ou ouverture standard.

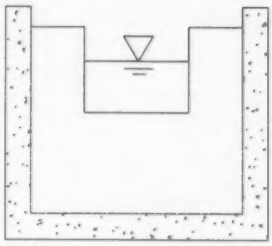
Les déversoirs dont l'arête se présente sous la forme d'une plaque métallique mince correspondent à des déversoirs à paroi mince et ceux dont l'arête est constituée de bois d'œuvre ou d'un massif bétonné épais correspondent à des déversoirs à seuil épais. On peut appliquer les relations du niveau eau-débit et répondre aux critères de précision des déversoirs à paroi mince si l'ouvrage a été calculé et aménagé selon les normes établies de l'ASTM et de l'ISO. Les ouvrages de mesure du débit à seuil épais ne répondront aux critères de précision que s'ils sont préalablement étalonnés. Les méthodes d'étalonnage sont présentées à l'annexe 3.

Les déversoirs les plus couramment utilisés sont ceux à paroi mince et à ouverture soit en V, soit rectangulaire. La figure 2 en présente plusieurs exemples. Le déversoir en V sert généralement à

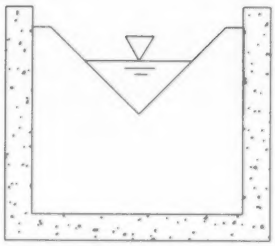
**Figure 2 Types de déversoirs courants**



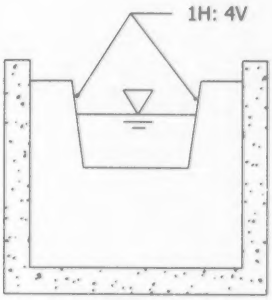

déversoir rectangulaire sans contraction latérale



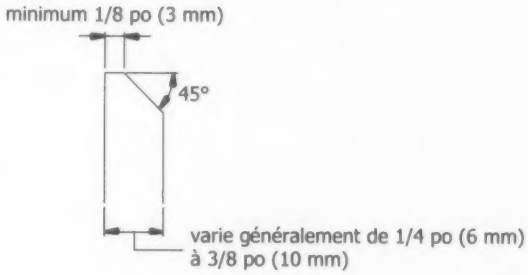
déversoir rectangulaire avec contraction latérale



déversoir en V ou triangulaire
(angles d'ouverture courants 22,5°, 30°, 45°, 60°, 90°, 120°)




déversoir trapézoïdal ou Cipolletti




détail — usinage courant de l'arête et plaque-déversoir
non conforme à l'échelle

mesurer les petits débits à l'intérieur d'une plage de mesure étroite. Le déversoir à ouverture rectangulaire permet de mesurer des débits plus grands que les déversoir en V et sur une plage de mesure plus large. Comme on peut le voir à la figure 2, un déversoir rectangulaire peut être du type à écoulement « partiellement contracté » ou « totalement contracté ». Parmi les autres types de déversoirs existants, mentionnons le déversoir trapézoïdal (Cipoletti), le déversoir Sutro et les déversoirs à profil complexe (c.-à-d. des déversoirs combinant les formes mentionnées précédemment).

La mesure du niveau de l'eau se fait en amont du déversoir à une distance égale à 4 à 5 fois la hauteur motrice maximale attendue. Elle se fait par rapport au fond de l'ouverture d'un déversoir en V (soit le sommet du V) et par rapport à la crête horizontale des autres types de déversoir.

Installation

- Toutes les sections et tous les éléments du déversoir et des appareils de mesure secondaires devraient être aisément accessibles pour l'inspection et l'entretien courants.
- Les plaques des déversoirs à paroi mince devraient avoir une épaisseur minimale de 6 mm et présenter une arête chanfreinée à 45° en direction aval. L'épaisseur de la plaque est fonction de sa largeur et de la hauteur motrice de l'effluent à mesurer. Les épaisseurs courantes atteignent 6, 8 et 12 mm.
- Les plaques des déversoirs à paroi mince devraient être en acier inoxydable.
- Une échelle limnimétrique doit être installée en permanence en aval du déversoir à un endroit où il sera possible de se faire une idée rapide du niveau de l'eau.
- Les appareils de mesure secondaires devraient être installés directement dans la section du déversoir ou au-dessus, ou dans un puits de mesure.
- Le déversoir devrait être dimensionné de manière à ce que l'écoulement maximal de service corresponde à environ 70 % à 100 % de sa capacité maximale. Un déversoir surdimensionné peut entraîner une baisse de précision à de faibles débits.

Entretien et étalonnage périodiques

- La plaque-déversoir devrait être propre et exempte de végétation et de micro-organismes et, durant la saison froide, de glace.
- Des mesures devraient être prises pour empêcher l'accumulation de sédiments ou de débris en amont du déversoir.
- Le repère « zéro » de l'appareil de mesure secondaire devrait être vérifié régulièrement en conditions d'écoulement nul. Si cela est impossible, on peut installer une plaque d'étalonnage permettant d'effectuer la vérification voulue.
- Le radier du puits de mesure et du canal d'amenée, selon le cas, devrait être propre et exempt de sédiments.
- Plusieurs autres points devraient être vérifiés lors des inspections périodiques comme par exemple l'horizontalité de la crête du déversoir, la verticalité de la plaque-déversoir, la hauteur de la crête par rapport à un repère connu (pour déceler le tassement différentiel de l'installation) et l'état de la plaque-déversoir (signes d'endommagement et de corrosion excessive).

### *Canaux Parshall*

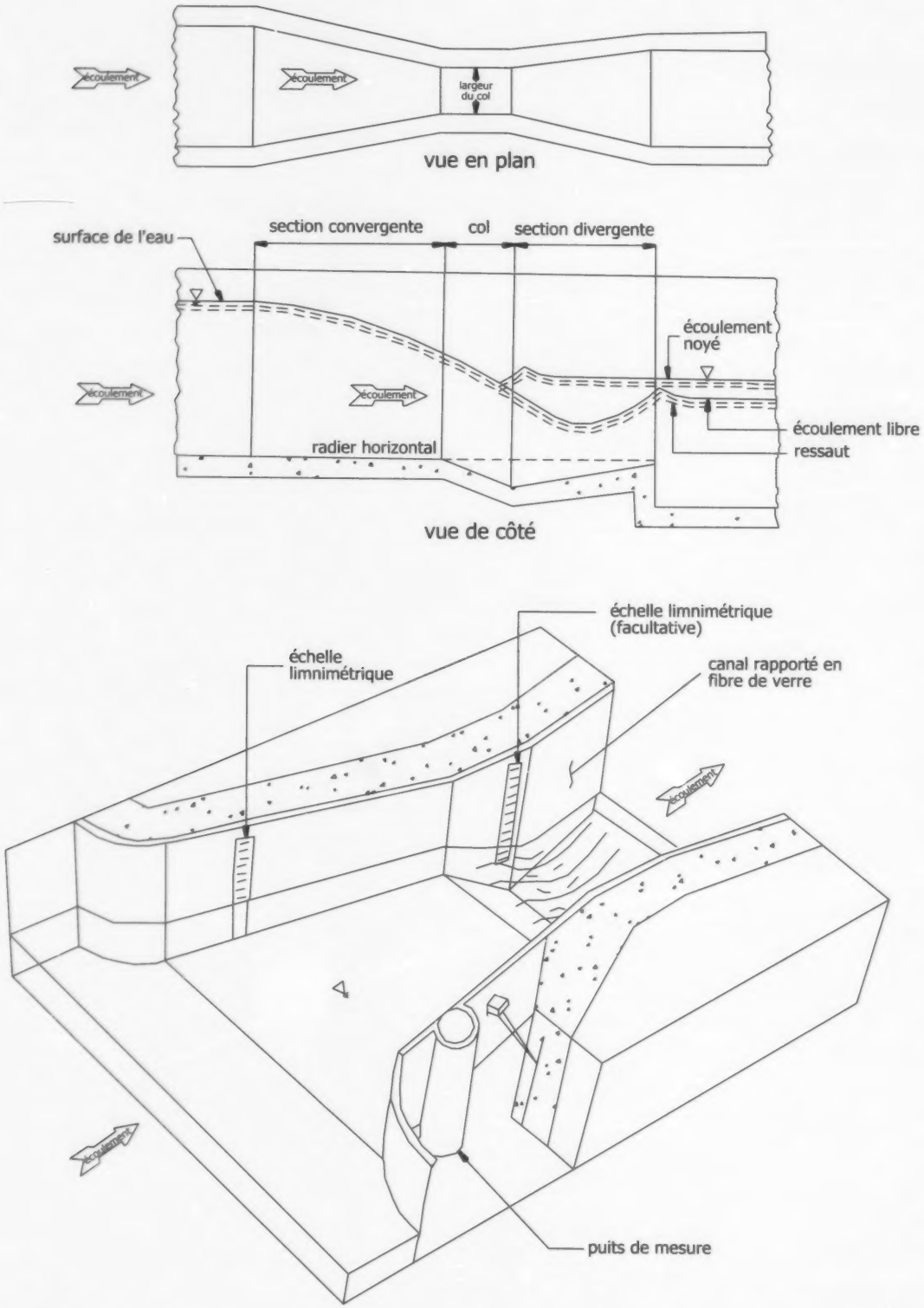
Description

Un canal Parshall est une structure hydraulique de section transversale rectangulaire comportant une section rétrécie et un radier incliné vers l'aval (voir figure 3). Cette caractéristique rétrécit et remodèle l'écoulement à travers la structure et génère une charge hydraulique proportionnelle au débit. Ce canal comporte un convergent d'entrée à radier horizontal, un rétrécissement ou col et un divergent de sortie.

Le convergent côté amont produit une accélération du flux à l'entrée de la structure. Cette accélération du flux s'accompagne d'effet de décapage des surfaces du canal, ce qui prévient l'accumulation de sédiments. La mesure de la charge hydraulique se fait dans la section convergente immédiatement en amont du col ou rétrécissement. Le col est situé dans la partie centrale du canal et présente une section rectangulaire et un radier incliné vers l'aval. La taille du canal est exprimée par la largeur du col.

Parmi les principaux avantages du canal Parshall, mentionnons la capacité d'autocurage, la possibilité de mesurer de larges étendues et une perte de charge

**Figure 3 Canal Parshall**




**(Tiré de Free Flow Inc., 1991)**

hydraulique relativement faible. La largeur du col de ces canaux varie entre 25 mm et 15,2 m. Ils peuvent être construits sur place en différents matériaux (bois, béton, tôle) ou préfabriqués en usine sous forme structure complète ou d'éléments rapportés. La version « éléments rapportés » se fait généralement en fibre de verre et s'insère sur place dans un logement en béton dimensionné en fonction des débits à mesurer.

Installation

- La structure complète devrait être établie et assujettie dans un support solide permettant de bien niveler le radier dans les deux sens, longitudinal et transversal, et d'éviter le flambement ou la déformation des parois au cours de débits élevés.
- Toutes les sections et tous les éléments du déversoir et de l' (des) appareil(s) de mesure secondaire(s) devraient être aisément accessibles pour l'inspection et l'entretien courants.
- Une échelle limnimétrique devrait être installée en permanence sur une des parois du convergent d'entrée à un endroit où il sera possible de se faire une idée rapide du niveau de l'eau.
- On devrait prévoir un puits de mesure pour la mesure de la charge hydraulique ou du niveau d'eau par l'appareil de mesure secondaire. Ce puits de mesure est raccordé au canal à l'endroit approprié du convergent par un tuyau d'adduction de petit diamètre. Le radier du puits de mesure devrait être au même niveau ou plus bas que le radier de la section convergente du canal.
- Le canal devrait être dimensionné de manière à ce que l'écoulement maximal de service corresponde à environ 70 % à 100 % de sa capacité maximale. Un canal surdimensionné peut entraîner une baisse de précision à de faibles débits.

Entretien et étalonnage périodiques

- Le canal devrait être propre et exempt de végétation et de micro-organismes. L'accumulation d'algues est courante sur les canaux rapportés en fibre de verre.
- Des mesures devraient être prises pour éviter l'accumulation de sédiments ou de débris sur le radier du canal.
- Le radier du puits de mesure ainsi que le canal d'amenée devraient être propres et exempts de sédiments.
- Le repère « zéro » de l'appareil de mesure secondaire devrait être vérifié régulièrement en conditions d'écoulement nul. Si cela est impossible, on peut installer une plaque d'étalonnage permettant d'effectuer la vérification voulue.
- Plusieurs autres points doivent être vérifiés au cours d'inspections périodiques comme par exemple les caractéristiques transversales et longitudinales du radier du canal (section convergente), la hauteur du canal par rapport à un repère connu (pour déceler le tassement différentiel de l'installation) et la séparation entre les éléments rapportés et la structure où ils sont logés, le cas échéant.

### *Canaux Palmer-Bowlus et Leopold-Lagco*

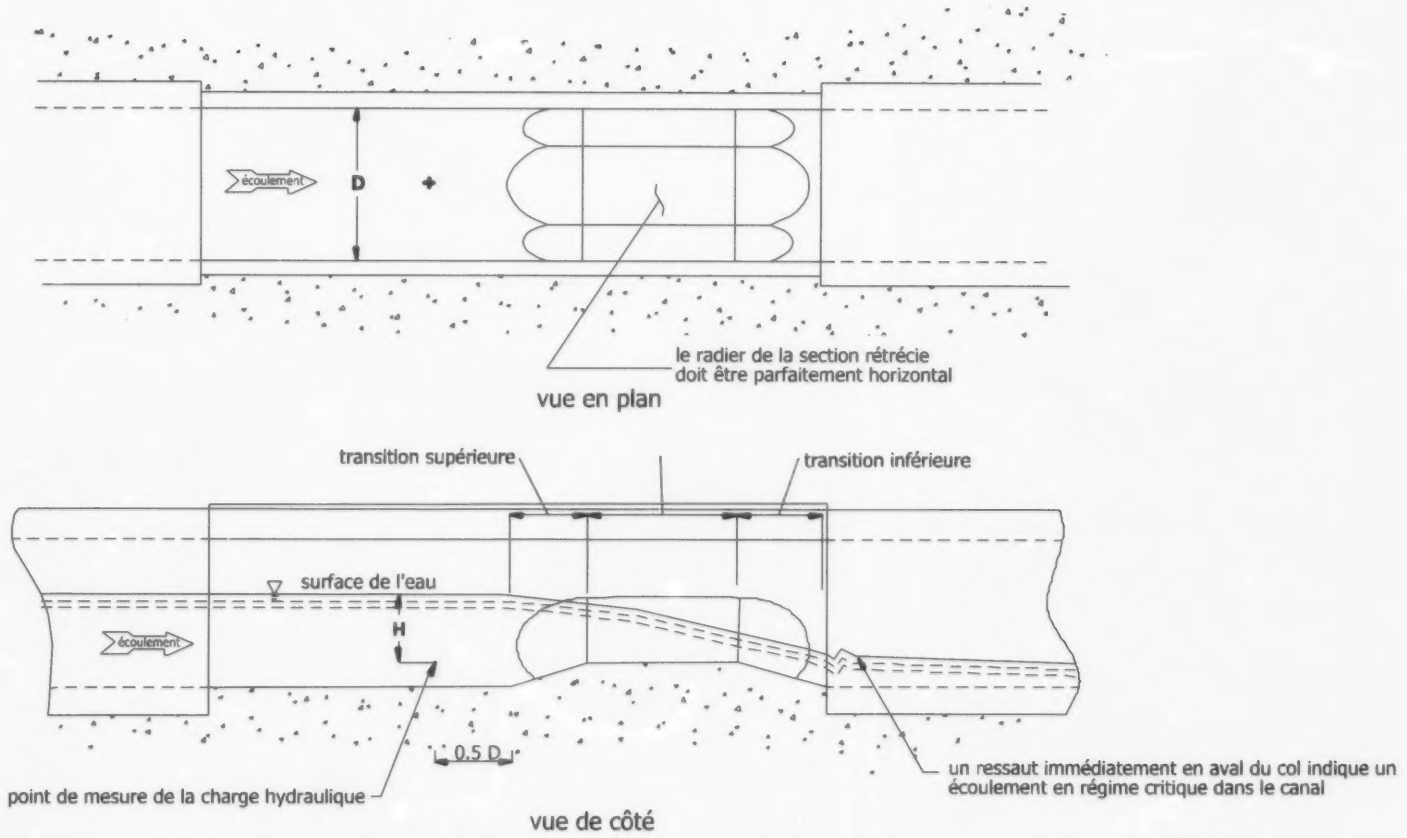
Description

Semblables au canal Parshall, ces dispositifs rétrécissent et remodèlent l'écoulement et génèrent une charge hydraulique proportionnelle au débit. Ils comportent une section convergente à l'entrée, un col ou rétrécissement à la sortie. Voir l'exemple à la figure 4.

Le convergent côté amont produit une accélération du flux à l'entrée de la structure. Cette accélération du flux s'accompagne d'effet de décapage des surfaces du canal, ce qui prévient l'accumulation de sédiments. La mesure de la charge hydraulique se fait dans la section convergente immédiatement en amont du col ou rétrécissement. Le col est situé dans la partie centrale du canal et présente une section trapézoïdale dans le cas du modèle Palmer-Bowlus et rectangulaire dans celui du modèle Leopold-Lagco. La taille du canal est exprimée par le diamètre du tuyau dans lequel il doit être installé.

Ces canaux offrent à peu près les mêmes principaux avantages que le canal Parshall. La principale différence repose sur le fait que ces canaux conviennent à l'installation dans des conduites circulaires existantes (tuyaux et ponceaux) ou des conduites rectangulaires. Les canaux Palmer-Bowlus standard viennent en tailles adaptées aux tuyaux de 100 mm à 1 070 mm de diamètre. Ces canaux que l'on peut obtenir sous forme d'éléments rapportés préfabriqués en usine s'installent directement dans la conduite pour être scellés en place.

**Figure 4 Canal Palmer-Bowlus**




1. Les canaux Palmer-Bowlus fonctionnent correctement lorsque l'écoulement y est laminaire. Pour cela, il faut éviter les coudes, tés, dénivellations et autres sources de perturbations immédiatement en amont du canal (distance minimale de 25 fois le diamètre). Une pente excessive du tuyau amont entraîne une perte de précision du fait de la turbulence créée au point de mesure. La pente maximale admissible des tuyaux de petit diamètre est de 2 %; celle des tuyaux de plus grand diamètre est moindre.
2. En aval du canal, la pente doit être suffisante pour maintenir un écoulement en régime critique à travers le col et prévenir un écoulement noyé.
3. La mesure de la charge hydraulique se fait en amont du col à une distance égale à D/2. Le niveau à débit nul se trouve à la même hauteur que le radier du col. La mesure de la charge (H) doit se faire à égalité avec le radier du col.

**(Tiré de Free Flow Inc., 1985)**

Installation

- Le canal doit être installé dans la conduite à un endroit précédé, à une distance d'environ 10 fois le diamètre de col en amont, par un tronçon d'approche relativement droit et lisse. La pente maximale admissible est de 2 %.
- La structure complète devrait être établie et assujettie dans un support solide permettant d'éviter le flambement ou la déformation du radier et des parois en conditions de débits élevés.
- Toutes les sections et tous les éléments du canal et de l' (des) appareil(s) de mesure secondaires devraient être aisément accessibles pour l'inspection et l'entretien courants.
- Une échelle limnimétrique devrait être installée en permanence sur une des parois du convergent d'entrée à un endroit où il sera possible de se faire une idée rapide du niveau de l'eau.
- On devrait prévoir un puits de mesure pour la mesure de la charge hydraulique ou du niveau d'eau par l'appareil de mesure secondaire. Ce puits de mesure est raccordé au canal à l'endroit approprié en amont du convergent par un tuyau d'adduction de petit diamètre. Le radier du puits de mesure devrait être au même niveau ou plus bas que le radier de la section convergente du canal.
- Le canal devrait être dimensionné de manière à ce que l'écoulement maximal de service corresponde à environ 70 % à 100 % de sa capacité maximale. Un canal surdimensionné peut entraîner une baisse de précision à de faibles débits.

Entretien et étalonnage périodiques

- Le radier et les parois du canal devraient être propres et exempts de végétation et de micro-organismes. L'accumulation d'algues est courante sur les canaux rapportés en fibre de verre.
- Le radier du canal devrait être exempt de sédiments et de débris.
- Le radier du puits de mesure et le canal d'amenée devraient être propres et exempts de sédiments.
- Le repère « zéro » de l'appareil de mesure secondaire devrait être vérifié régulièrement en conditions d'écoulement nul. Si cela est impossible, on peut installer une plaque d'étalonnage permettant d'effectuer la vérification voulue.
- Plusieurs autres points devraient être vérifiés au cours des inspections périodiques comme par exemple les conditions transversales et longitudinales du radier du canal (section convergente), la hauteur du canal par rapport à un repère connu (pour déceler le tassement différentiel de l'installation) et la séparation entre les éléments rapportés et la structure où ils sont logés, le cas échéant.

### *Canaux de type H, jaugeurs paraboliques*

Description

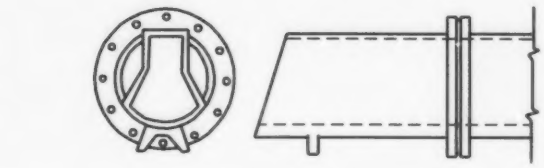
Il s'agit d'appareils de mesure primaires qui s'installent à l'extrémité des conduites à rejet en chute libre. Un exemple est présenté à la figure 5. Le canal de type H et le jaugeur parabolique rétrécissent le flux à la sortie d'une conduite ou d'un tuyau. Le canal de type H présente une section rectangulaire à l'entrée et une sortie de section trapézoïdale qui se rétrécit vers le bas. Le jaugeur parabolique présente une section circulaire à l'entrée et une section parabolique à la sortie. Comme les déversoirs et les canaux, ces dispositifs sont caractérisés par une relation connue entre le niveau de l'eau et le débit.

Il existe trois versions du canal de type H qui offrent ensemble une grande étendue de mesure (canaux HS, H et HL). Ce type de canal se différencie par sa profondeur maximale qui va de 120 mm à 1 370 mm. Les dimensions standard des jaugeurs paraboliques varient entre 150 mm et 610 mm.

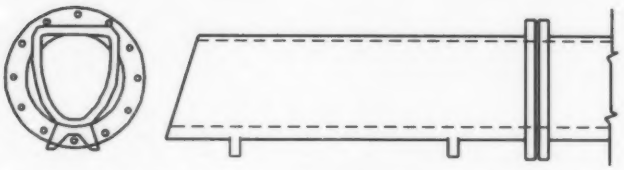
Installation

- Le canal ou le jaugeur devrait être installé dans la conduite à un endroit relativement droit et lisse à une distance d'environ 10 fois le diamètre ou la largeur de col en amont. La pente maximale admissible est de 1 %.
- La structure complète devrait être établie et assujettie dans un support solide permettant d'éviter le flambement ou la déformation du radier et des parois à débits élevés.
- Toutes les sections et tous les éléments du canal/jaugeur et de l' (des) appareil(s) de mesure secondaire(s) devraient être aisément accessibles pour l'inspection et l'entretien courants.
- Les appareils de mesure secondaires des canaux de type H devraient être installés soit directement au-dessus du flux dans le canal ou dans un puits de mesure qui y est relié. Les appareils de mesure secondaires des jaugeurs paraboliques devraient être installés directement au-dessus du flux.
- Le canal ou le jaugeur devrait être dimensionné de manière à ce que l'écoulement maximal de service corresponde à environ 70 % à 100 % de

**Figure 5 Jaugeurs à surface libre et jaugeur de type H**

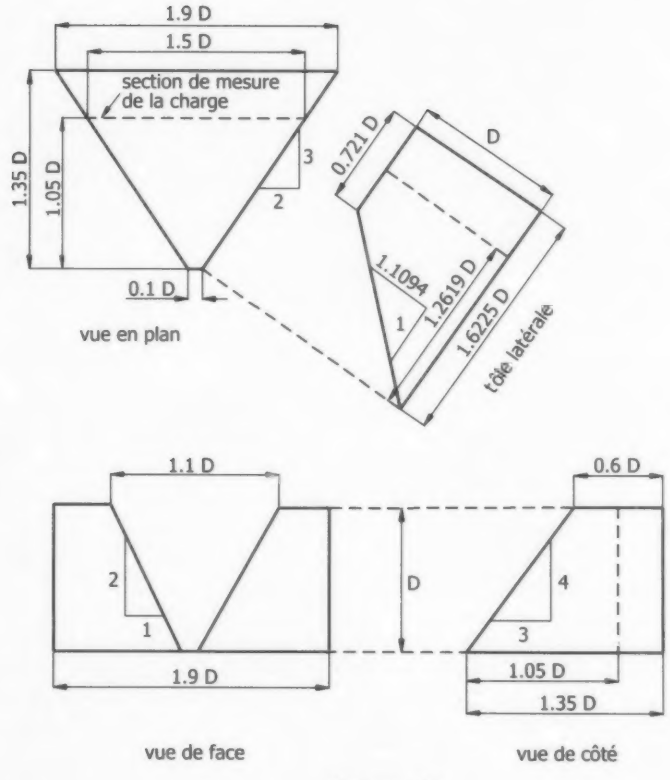


A. jaugeur Kennison (Q proportionnel à H)



B. jaugeur parabolique (Q proportionnel à $H^2$)

jaugeurs à surface libre




jaugeur H

**(Tiré de Grant et Dawson, 1995)**

sa capacité maximale. Un canal ou un jaugeur surdimensionné peut entraîner une baisse de précision à de faibles débits.

Entretien et étalonnage périodiques

- Le canal ou le jaugeur devrait être propre et exempt de végétation, de micro-organismes, de sédiments et de débris.
- Le repère « zéro » de l'appareil de mesure secondaire devrait être vérifié régulièrement en conditions d'écoulement nul. Si cela est impossible, on peut installer une plaque d'étalonnage permettant d'effectuer la vérification voulue.
- Plusieurs autres points doivent être vérifiés au cours des inspections périodiques comme par exemple la hauteur du canal ou du jaugeur par rapport à un repère connu (pour déceler le tassement différentiel et la déformation de l'installation) et la séparation du dispositif par rapport à la conduite en amont.

## Appareils de mesure secondaires

Un appareil de mesure secondaire est toujours utilisé avec un appareil de mesure primaire et joue deux rôles. Le premier rôle consiste à mesurer le niveau de liquide dans l'appareil primaire tandis que le second vise à convertir ce niveau en débit en appliquant une relation niveau-débit connu. Cette section traite de la fonction mesure du niveau d'eau.

Les appareils de mesure secondaires servant à déterminer le niveau (charge hydraulique) de l'eau comprennent :

- flotteur;
- barboteur (mesurant la contrepression de l'air injecté dans l'eau);
- capteurs de pression submergés (divers types de capteurs de pression mécaniques ou électriques);
- sondes capacitives (sondes à courant électrique);
- détecteurs de niveau à ultrasons (montés au-dessus de l'eau et émettent des ondes ultrasonores vers la surface libre de l'eau).

Tous les dispositifs énumérés présentent des avantages et des inconvénients. Leur choix devrait tenir compte des conditions locales, du type d'appareil de mesure primaire utilisé et des conditions d'exploitation et d'entretien.

## Méthode d'exploration du champ des vitesses

Cette méthode de mesure du débit ne fait pas appel à de structure hydraulique ni à un appareil primaire dans un canal à l'air libre ou une conduite fermée partiellement remplie.

Description

Cette méthode repose sur une mesure directe des vitesses et de la section du flux (dérivée du niveau de l'eau et de la géométrie du canal). Le débit est calculé en fonction du produit de la vitesse par la section selon l'équation de continuité. Un système de mesure exploitant le principe de l'exploration du champ des vitesses se compose du nombre voulu de capteurs de vitesse placés dans le canal ou la conduite à un endroit approprié et de l'appareil associé de traitement du signal. Le calcul du débit à partir des mesures fournies par les capteurs intègre les dimensions géométriques du flux ainsi que les coefficients de correction de la vitesse propres au site considéré.

Cette méthode s'applique directement aux canaux artificiels ou aménagés et aux conduites ou aux tuyaux partiellement remplis. Elle n'exige aucune structure hydraulique (appareil primaire). Il suffit d'installer une batterie appropriée de capteurs de vitesse qui fait obstacle minimal à l'écoulement du liquide.

Elle peut être adaptée à toutes les formes et tailles de conduites ou de canaux. Par contre, il faut dans tous les cas une profondeur d'eau et une vitesse minimales pour obtenir des capteurs une précision suffisante. Afin d'atteindre le degré voulu de précision de mesure des débits élevés, il peut être nécessaire de faire appel à plusieurs capteurs de vitesses. Un seul ne suffit généralement pas pour déterminer la vitesse moyenne représentative de l'écoulement.

Il existe sur le marché plusieurs types de capteurs de vitesse fondés sur l'un des principes de mesure suivants :

- magnétisme;
- temps de transit d'un faisceau d'ultrasons;
- vélocimétrie acoustique Doppler.

Chaque méthode exige la mise en œuvre d'un dispositif distinct de mesure de la hauteur d'eau. Parmi les dispositifs de mesure du niveau les plus

couramment utilisés pour les fins du calcul des débits par intégration du champ des vitesses, on compte les capteurs de pression submergés et les capteurs de niveau à ultrasons montés au-dessus de la surface de l'eau.

Installation

- Le point de mesure du débit doit être précédé d'une section de canal relativement droite sur une distance égale à 10 fois sa largeur en amont et en aval. Les parois du canal ou de la conduite devraient être lisses et exemptes d'irrégularités et d'obstructions susceptibles de perturber le profil des vitesses.
- L'emplacement du (des) capteur(s) de vitesse devrait permettre de connaître avec précision la vitesse moyenne du flux.
- Le niveau de l'eau à de faibles débits devrait être suffisant pour assurer un fonctionnement satisfaisant du (des) capteur(s) de vitesse.
- Les capteurs sont habituellement montés sur une bande ou structure de support de forme adaptée au contour du courant, canal ou conduite. Les capteurs devraient être solidement fixés ou supportés dans le canal.
- Tous les éléments de la batterie de capteurs ainsi que tous les appareils de mesure secondaires associés devraient être aisément accessibles pour l'inspection et l'entretien courants.
- Une échelle limnimétrique devrait être installée en permanence à un endroit approprié de manière à ce qu'il soit possible de se faire une idée rapide du niveau de l'eau dans le canal.
- Le capteur de niveau devrait être étalonné par rapport au plan de référence zéro, soit le fond ou le radier du canal ou de la conduite.

Entretien et étalonnage périodiques

- Le point de mesure du débit et les capteurs devraient être propres et exempts de végétation, de micro-organismes, de sédiments et de débris.
- Le repère « zéro » de l'appareil de mesure secondaire devrait être vérifié régulièrement en conditions d'écoulement nul. Si cela est impossible, on peut installer une plaque d'étalonnage permettant d'effectuer la vérification voulue.

## Bibliographie

Free Flow Inc. Palmer-Bowlus Flume Construction. Specification 25, 779a. Omaha, Nebraska, 1985.

Free Flow Inc. Parshall Flumes for Open Channel Flow Measurement. Bulletin PF. Omaha, Nebraska, 1991.

Grant, D.M. et B.D. Dawson, *ISCO Open Channel Flow Measurement* Handbook. 4e édition. Isco Environmental Division, Lincoln, Nebraska, 1995.

# ANNEXE 2 MESURE DU DÉBIT EN CONDUITE FERMÉE

## Introduction

Cette annexe traite des mesures du débit en conduite fermée, présente des lignes directrices générales concernant le choix du site et décrit les techniques de mesure les plus courantes. Par écoulement en conduite fermée, on entend le déplacement d'un liquide qui occupe toute la section de la conduite et qui circule sous pression. Dans la plupart des cas, les effluents circulent sous pression positive (c'est-à-dire qu'ils sont en charge dans une canalisation ou un tuyau raccordé à la sortie d'un réservoir ou d'un bassin). Les flux sous pression négative (ou aspirés) sont associés aux installations à siphon.

## Choix du site

Le choix des points de mesure du débit en conduite fermee devrait tenir compte des critères suivants :

- la conduite ou canalisation devrait être de forme régulière dans toute la section de mesure. Une paroi interne rugueuse ou irrégulière en raison d'une corrosion ou tuberculisation poussée peut contribuer à perturber le profil de vitesse et entraîner une turbulence et une rotation propres à compromettre la précision des mesures;
- la conduite ou canalisation devrait être droite et de section uniforme sur une distance, en amont du point de mesure, égale à au moins 10 fois son diamètre. La présence de coudes, raccords, robinets, réducteurs, divergents, filtres/crépines et autres obstacles à moins de 10 fois le diamètre de la conduite en amont du point de mesure peut réduire la précision des mesures;
- il faut éviter les emplacements où il y a risque d'accumulation de particules solides dans la conduite en conditions d'écoulement intermittent, à faibles débits ou à faibles vitesses d'écoulement;
- à l'emplacement choisi, la conduite devrait toujours être complètement remplie dans tout l'écart des conditions d'écoulement.

## Dispositifs de mesure du débit en conduite fermée

Il existe différentes méthodes de mesure du débit en conduites fermées ou tuyaux. Les plus répandues sont celles fondées sur l'exploration du champ des vitesses (ex. débitmètres magnétiques, débitmètres à temps de transit) et les méthodes fondées sur la mesure de la pression différentielle (ex. débitmètres à tube venturi, diaphragme). D'autres dispositifs non abordés dans cette annexe comprennent les débitmètres à rotor (turbine, hélice), les débitmètres à vortex et les débitmètres à cible et volumétriques (compteurs à disque, à piston). Ces techniques moins courantes ne sont pas abordées dans le présent annexe.

## Méthodes fondées sur l'exploration du champ des vitesses – débitmètres magnétiques

Ces débitmètres mesurent la vitesse moyenne axiale du liquide. Le débit est obtenu en multipliant cette vitesse moyenne par la section constante connue de la conduite ou du tuyau. Un débitmètre magnétique se présente sous la forme d'une conduite de construction spéciale, désigné « tube de mesure » que l'on insère directement dans la conduite ou canalisation. La vitesse d'écoulement est déterminée au moyen de capteurs montés dans le « tube de mesure » dont le fonctionnement repose sur les lois de l'électromagnétisme.

Le tube de mesure, qui constitue l'appareil primaire du dispositif, crée un champ magnétique que doit traverser le fluide. Le mouvement des fluides conducteurs induit, selon le principe de Faraday, un potentiel électrique ou tension entre les capteurs (électrodes) montés dans le tube de mesure, tension qui est proportionnelle à la vitesse du fluide.

L'appareil secondaire, qui est un convertisseur/transmetteur, mesure la tension induite entre les électrodes et la convertit en signal utile proportionnel au débit. En général, le convertisseur produit également un signal analogue ou de fréquence (nombre d'impulsions par unité de débit) et comporte souvent un indicateur local visuel de débit et de volume total.

Plusieurs fabricants offrent des débitmètres magnétiques pour canalisations de diamètres courants variant entre quelques millimètres et deux mètres. Les débitmètres peuvent être montés dans la canalisation au moyen de raccords filetés, de brides à boulonner ou encore en sandwich entre les brides existantes de la canalisation.

Installation

- Le tube de mesure du débitmètre magnétique devrait être installé dans un tronçon de la canalisation qui présente une section uniforme et qui est droit, en amont du tube, sur une distance égale à au moins 10 fois le diamètre de la canalisation et, en aval de celui-ci, sur une distance minimale de 3 fois le diamètre.
- Le débitmètre magnétique devrait être installé à un endroit exempt de turbulence attribuable à la présence de raccords, pompes ou robinets adjacents à l'installation.
- Le tube de mesure devrait avoir un diamètre intérieur égal à celui de la canalisation pour ne pas constituer un obstacle à l'écoulement ni s'user prématurément.
- Le débitmètre devrait être posé à un endroit où la canalisation est toujours pleine dans toutes les conditions de service. Le tube de mesure peut être installé à la verticale ou à l'horizontale avec sortie surélevée ou col de cygne en ligne en aval du débitmètre.
- Pour permettre le nettoyage et l'entretien, le débitmètre devrait être installé dans un endroit accessible. On devrait envisager la pose d'une dérivation de contournement si on veut l'enlever pour l'inspection et l'entretien.

Entretien périodique du débitmètre

- Il convient d'utiliser à intervalles réguliers les fonctions d'autotest et d'autodiagnostic des débitmètres magnétiques pour vérifier la qualité de l'appareil de mesure du débit.
- On devrait vérifier périodiquement la mise à la terre, la tension de référence et la résistance des capteurs de l'appareil primaire pour s'assurer que toutes les valeurs correspondent aux spécifications du fabricant.
- L'état de salissure des capteurs et l'accumulation de sédiments dans le tube de mesure devraient être vérifiés périodiquement et toutes les composantes du système devraient être nettoyées au besoin.

**Méthodes fondées sur l'exploration du champ des vitesses – débitmètres à ultrasons (à temps de transit)**

Les débitmètres à temps de transit exploitent la différence entre les temps de parcours pour déterminer la vitesse d'écoulement d'un fluide dans une conduite fermée ou canalisation. Les impulsions ultrasonores sont émises diagonalement à l'axe du flux par deux transducteurs fixés en direction aval et en direction amont. La différence de temps de parcours ou de transit est directement proportionnelle à la vitesse du fluide dans la conduite et sert à calculer le débit.

Les débitmètres à temps de transit peuvent être du type à transducteurs soudés à des endroits précis de la canalisation ou à transducteurs se fixant par serrage sur l'extérieur de la conduite fermée ou canalisation.

Installation

- Le débitmètre à ultrasons devrait être installé dans un tronçon de la canalisation qui présente une section uniforme et qui est droit, en amont de l'appareil, sur une distance égale à au moins 10 fois le diamètre de la canalisation et, en aval de celui-ci, sur une distance minimale de 3 fois le diamètre.
- Le débitmètre à ultrasons devrait être installé à un endroit exempt de turbulence attribuable à la présence de raccords, pompes, robinets adjacents à l'installation.
- Le débitmètre à ultrasons devrait être installé sur une conduite ou canalisation faite d'un matériau approprié (matériau propice à la propagation des ultrasons). Il faut éviter les matériaux poreux tels que le béton et la fonte.
- Le débitmètre devrait être posé à un endroit où la canalisation est toujours pleine dans toutes les conditions de service. Il peut être installé à la verticale ou à l'horizontale avec sortie surélevée ou col de cygne en ligne en aval du débitmètre. La présence de bulles d'air et de particules solides dans le fluide peut atténuer le signal ultrasonore et leur densité doit donc respecter les limites acceptables.
- Pour permettre le nettoyage et l'entretien, le débitmètre devrait être installé dans un endroit accessible. Il faudrait envisager la pose d'une dérivation de contournement si on veut l'enlever au moment de l'inspection et de l'entretien.

Entretien et étalonnage périodiques

- Il convient d'utiliser à intervalles réguliers les fonctions d'autotest et d'autodiagnostic des débitmètres à u!trasons pour vérifier la qualité de l'état de l'appareil de mesure du débit.
- Il serait bon de vérifier périodiquement le fonctionnement de l'appareil primaire au moyen d'un bloc étalon servant à déterminer si l'intensité du signal et son traitement sont acceptables et correspondent aux spécifications du fabricant.
- L'état de salissure de la conduite et l'accumulation de sédiments dans le débitmètre devraient être vérifiés périodiquement et toutes les composantes du système devraient être nettoyées au besoin.

## Débitmètres à pression différentielle

Il s'agit d'appareils primaires à usinage de précision montés à l'intérieur de la conduite ou canalisation complètement remplie de fluide sous pression. Au passage du fluide dans l'appareil, une restriction géométrique crée une chute de pression (pression différentielle) qui est liée au débit. La pression différentielle est mesurée au moyen de prises de pression situées, l'une, en amont de l'appareil primaire et, l'autre, soit en aval ou dans l'étranglement (col) à des endroits précis. Les débitmètres à pression différentielle les plus courants sont les tubes venturi et les plaques à orifice ou diaphragmes.

Les tubes venturi sont offerts en tailles adaptées aux diamètres courants compris entre 50 mm et 910 mm. Ils existent en diverses configurations et se posent à raccords filetés, à brides boulonnées ou en sandwich entre brides de canalisation. La perte de charge avec un tube venturi est inférieure à celle induite par une plaque à orifice.

Les plaques à orifice ou diaphragmes se présentent essentiellement sous la forme d'un disque métallique percé d'un trou usiné à un diamètre précis. Elles sont posées dans la canalisation entre une paire de brides et leur trou doit absolument être centré dans la conduite ou la canalisation où elles sont posées. Il existe des plaques à orifice pour tous les diamètres courants compris entre 25 mm et 450 mm.

Installation

- Les tubes venturi comme les plaques à orifice devraient être installés dans un tronçon de canalisation qui présente une section uniforme et qui est droit, en amont de l'appareil, sur une distance minimale de 3 à 12 fois le diamètre de la canalisation et, en aval de celui-ci, sur une distance minimale de 3 fois le diamètre. La longueur minimale du tronçon droit exigé en amont varie selon le type d'appareil utilisé et les variantes de celui-ci. La longueur minimale du tronçon droit aménagé devrait correspondre aux valeurs recommandées par le fabricant.
- Le débitmètre à pression différentielle devrait être installé à un endroit exempt de turbulence attribuable à la présence de raccords, pompes, robinets adjacents à l'installation.
- Le débitmètre devrait être posé à un endroit où la canalisation est toujours pleine dans toutes les conditions de service. Il peut être installé à la verticale ou à l'horizontale avec sortie surélevée ou col de cygne en ligne en aval du débitmètre.
- Pour permettre le nettoyage et l'entretien, le débitmètre devrait être installé dans un endroit accessible. On devrait envisager la pose d'une dérivation de contournement si on veut l'enlever pour l'inspection et l'entretien.

Entretien et étalonnage périodiques

- On devrait utiliser à intervalles réguliers les fonctions d'autotest et d'autodiagnostic des appareils de mesure secondaires pour vérifier la qualité des mesures et l'état de l'appareil.
- Le transmetteur de pression différentielle devrait être isolé périodiquement et vérifié au moyen d'un manomètre étalon pour s'assurer que ses indications sont acceptables et respectent les spécifications d'exploitation du fabricant.
- L'état de salissure et l'accumulation de sédiments dans l'appareil primaire devraient être vérifiés périodiquement et toutes les surfaces, nettoyées au besoin. Les tubes venturi sont par définition auto-nettoyants. Par contre, les plaques à orifice montées dans une conduite horizontale peuvent donner lieu à une accumulation de sédiments lesquels peuvent réduire la précision des mesures.

# ANNEXE 3 MÉTHODES D'ÉTALONNAGE DES SYSTÈMES DE MESURE DU DÉBIT

## Introduction

L'étalonnage *in situ* vise à établir et à confirmer la conformité aux exigences de précision des mesures de débit. Tous les systèmes de mesure du débit dans le cas des points de rejet final devraient être étalonnés *in situ* au moment de la mise en service. La méthode d'étalonnage appliquée servant à établir et à confirmer l'exactitude de la mesure du débit devrait permettre d'obtenir une mesure de précision à plus ou moins 5 % près.

Les méthodes ci-dessous offrent un niveau de précision d'étalonnage acceptable des systèmes de mesure du débit :

- méthode de dilution (traceur) – injection d'une solution à débit constant et concentration connus, et mesure de la concentration homogène dans le flux d'effluent afin de déterminer le débit (les solutions injectées peuvent être du Rhodamine WT ou du chlorure de lithium);
- méthode volumétrique – collecte d'effluent et pesage pendant une période donnée ou mesure du volume d'effluent déplacé pendant une période donnée;
- modélisation hydraulique – construction d'un modèle réduit du système de mesure du débit et étalonnage en laboratoire.

Les méthodes ci-dessus conviennent pour l'étalonnage aussi bien des systèmes de mesure à l'air libre que des systèmes de mesure en conduite.

La méthode de l'exploration du champ des vitesses, qui consiste à mesurer la vitesse du courant à différentes profondeurs dans une section donnée pour déterminer le débit, peut servir de méthode complémentaire de vérification de l'étalonnage mais elle ne devrait pas être utilisée comme seul moyen direct d'étalonnage des systèmes de mesure du débit. La raison étant la difficulté à caractériser les paramètres hydrauliques dans des conditions non idéales, notamment lorsque les caractéristiques du chenal sont irrégulières, l'écoulement est turbulent (remous ou courants transversaux) ou la vitesse d'écoulement est faible.

Dans le cas des écoulements en charge sous conduite, on peut faire appel à des méthodes ultrasonores et électromagnétiques pour contrôler les résultats de l'étalonnage, mais on ne devrait pas s'en servir pour l'étalonnage direct des systèmes de mesure. La raison étant la possibilité d'avoir des conditions hydrauliques non idéales comme un remplissage imparfait de la section de mesure et la présence de bulles d'air.

## Méthode de dilution utilisant des traceurs

Cette méthode prévoit l'injection d'un traceur à débit constant dans le flux d'effluent et son prélèvement en aval à un endroit où le traceur et l'effluent se mélangent entièrement. Connaissant la concentration du traceur, le débit d'injection dans l'effluent et sa concentration au point du mélange, on peut déterminer le débit du flux d'effluent selon le principe de la « continuité ».

Cette méthode est décrite de façon approfondie dans la norme ISO 9555 – *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Méthodes de dilution en régime permanent utilisant des traceurs*, 1994.

Parmi les traceurs généralement utilisés avec cette méthode, on compte le Rhodamine WT et le chlorure de lithium. Le choix du traceur devrait être fait en fonction des caractéristiques du flux d'effluent et de l'expérience que l'on a du traceur et des techniques d'analyse respectives. Par exemple, le Rhodamine WT est un traceur polyvalent que l'on peut mesurer *in situ* à très faibles concentrations (en parties par billion) par fluviomètre, mais le mode opératoire est complexe et des précautions sont requises pour éviter d'entacher les résultats d'erreurs expérimentales. La concentration du Rhodamine WT varie avec la température et son dosage par colorimétrie exige la préparation de solutions à taux de dilution précise. Il faut aussi contrôler la diffusion du colorant dans le flux d'effluent (p. ex. les flux à haute teneur en solides en suspension et en matières organiques). Le désavantage du chlorure de lithium tient du fait qu'il ne peut être mesuré *in situ*, ce qui a pour effet d'empêcher le contrôle adéquat de l'exécution du mode opératoire (p. ex. invariabilité du débit d'injection, conditions d'écoulement propices au mélange complet, obtention d'un régime permanent).

## Méthode de jaugeage volumétrique

La méthode de jaugeage volumétrique peut se faire soit par pesée de l'effluent recueilli pendant un laps de

temps donné, soit en mesurant le volume d'effluent écoulé pendant une période déterminée. Les possibilités d'application de la première technique sont limitées du fait que les volumes d'effluent sont généralement trop grands à traiter pour fins d'étalonnage. Dans le secteur minier, la seconde technique est également d'utilité limitée puisque les décharges aux points de rejet final ne proviennent généralement pas de réservoirs ou citernes (p. ex. relation hauteur-volume connue) mais de bassins et d'installations de traitement des effluents. Les relations hauteur-volume caractérisant ces installations sont généralement connues mais avec un degré de précision insuffisant pour fins d'étalonnage des systèmes de mesurage du débit.

La norme ISO 8316 – *Méthode par jaugeage d'un réservoir volumétrique*, 1987, décrit en détail cette méthode.

## Modélisation hydraulique

Certains régimes d'écoulement ou conditions locales rendent impossible l'étalonnage au moyen des techniques de dilution ou de jaugeage volumétrique. Une telle situation peut survenir pour les raisons suivantes :

- il est difficile de reproduire dans le système réel toute la gamme des débits opérationnels;
- les essais peuvent entraîner le rejet d'une charge contaminante inacceptable dans l'environnement (p. ex. à certains moments de l'année, il peut être inadmissible de déverser dans les eaux réceptrices les débits exigés par les essais);
- le point de rejet ne doit servir qu'en cas d'urgence incontournable et tout essai conduirait à polluer indûment les eaux réceptrices.

Pour éviter ces difficultés, il est possible de construire un modèle hydraulique du système de mesure du débit et de mener les essais d'étalonnage en laboratoire. Le modèle hydraulique sera conçu en appliquant les lois de la similitude hydraulique. En fait, le modèle constitue une représentation à échelle réduite du système réel de mesure du débit (prototype). Il est réalisé en maintenant un rapport fixe (p. ex. facteur d'échelle) entre toutes les longueurs, vitesses et forces correspondantes du prototype et du modèle, qui interviennent dans les équations du mouvement. Pour obtenir une description approfondie des principes de la similitude hydraulique et de la modélisation hydraulique, on doit consulter les auteurs suivants : Hwang (1981) et Streeter et Wylie (1985).

Dans le cas de la plupart des systèmes de mesure du débit, l'inertie et la force gravitationnelle peuvent être considérées comme les seules forces à intervenir dans le mouvement du fluide. Ainsi, la relation entre l'écoulement dans le modèle et le prototype peut être exprimée comme suit :

$$Q_p = L_r^{2.5} Q_m$$

où : $Q_p$ = écoulement du prototype;
$Q_m$ = écoulement du modèle;
$L_r$ = facteur d'échelle.

Le facteur d'échelle devrait être choisi de façon à reproduire le plus fidèlement possible l'écoulement dans le prototype, compte tenu de la capacité de pompage dont dispose le laboratoire d'essai.

Les modèles hydrauliques devraient être construits à partir de mesures prises sur le terrain. Les dimensions indiquées sur les plans de conception devraient être confirmées avant d'entreprendre la construction du modèle. Les matériaux de construction normalement utilisés dans le cas d'un modèle hydraulique sont le bois et l'acier.

En laboratoire, la détermination du débit traversant le modèle se fait généralement selon la méthode volumétrique ci-dessus.

## Bibliographie

Hwang, N.C. *Fundamentals of Hydraulic Engineering Systems*. Prentice-Hall Series in Environmental Sciences, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1981, 367 p.

ISO 8316. *Mesure de débit des liquides dans les conduites fermées - Méthode par jaugeage d'un réservoir volumétrique*. Organisation internationale de normalisation, Suisse, 1987.

ISO 9555. *Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Méthodes de dilution en régime permanent utilisant des traceurs*. Organisation internationale de normalisation, Suisse, 1994.

Streeter, V.L. et E.B. Wylie. *Fluid Mechanics*. 8e édition, McGraw-Hill Book Company, Toronto, 1985, 586 p.